

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **10062825 A**

(43) Date of publication of application: **06.03.98**

(51) Int. Cl. **G02F 1/295**

(21) Application number: **09177470**

(22) Date of filing: **02.07.97**

(30) Priority: **20.11.87 GB 87 8727212**

(62) Division of application: **63509075**

(71) Applicant: **UK GOVERNMENT**

(72) Inventor:
**JOHN MICHAEL HAATON
DAVID ROBERT WIGHT
LEWIS MEIRION F
WEST CHRISTOPHER L**

(54) **ELECTRO-OPTICAL WAVEGUIDE DEVICE**

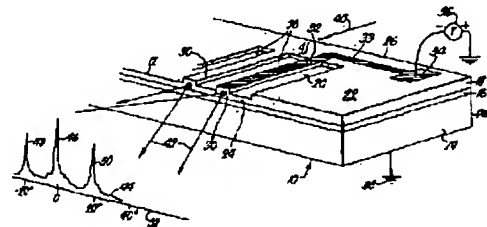
which the electrical biasing is possible.

(57) Abstract:

COPYRIGHT: (C)1998,JPO

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an electro-optical waveguide device which is made extremely smaller in size as compared with the prior art and is improved in performance.

SOLUTION: This waveguide device has a device 10 formed of a multilayered structure and includes a waveguide core layer 18 sandwiched between two light confinement layers 16, 32 having a low refractive index. This waveguide core layer 18 is part of diode structures 16, 18, 32 and turns to a charge carrier depletion layer under the reverse bias impressed by the light confinement layers 16, 32. Grooves 20 forming the individual waveguides 30 of the array extend to at least part of the waveguide core layer 18. These grooves 20 house media having the refractive index lower by at least 1.5 than the refractive index of the waveguide core layer 18 in order to prohibit the optical coupling between the adjacent waveguides 30. The waveguides 30 consist of an electro-optical material designed to prohibit the output of unnecessary space modes. The device includes the array of such waveguides 30 with



(51) Int.Cl.⁶

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

G 0 2 F 1/295

G 0 2 F 1/295

審査請求 有 請求項の数25 O L (全 29 頁)

(21) 出願番号 特願平9-177470
 (62) 分割の表示 特願昭63-509075の分割
 (22) 出願日 昭和63年(1988)10月31日
 (31) 優先権主張番号 8 7 2 7 2 1 2
 (32) 優先日 1987年11月20日
 (33) 優先権主張国 イギリス (GB)

(71) 出願人 593157600
 イギリス国
 イギリス国、ロンドン・エス・ダブリュ・
 1・エイ・2・エイチ・ビー、ホワイトホ
 ール (番地なし)
 (72) 発明者 ジョン・マイケル・ハートン
 イギリス国、ウスターシャー、マルバー
 ン、アリキヤンティ・クローズ・23
 (72) 発明者 デビット・ロバート・ウエイト
 イギリス国、ウスターシャー、マルバー
 ン・ウエルズ、ウッドフアーム・ロード、
 グレンフィールド (番地なし)
 (74) 代理人 弁理士 川口 義雄 (外1名)

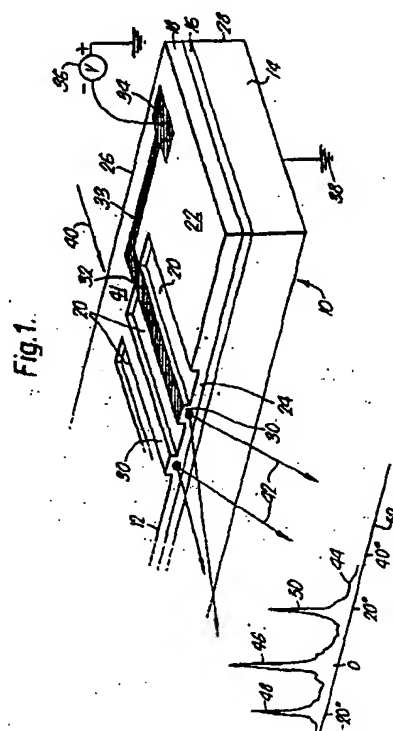
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 電気光学的導波路デバイス

(57) 【要約】

【課題】 従来技術に比較して極めて小型化され、また性能が改良された電気光学的導波路デバイスを提供する。

【解決手段】 (a) デバイス (10) が多層構造であり、低屈折率を有する2つの光閉じ込め層 (16, 32) の間にサンドイッチされた導波路コア層 (18) を含み、(b) 導波路コア層 (18) がダイオード構造 (16, 18, 32) の一部であり、閉じ込め層 (16, 32) を介して印加された逆バイアス下に荷電キャリア空乏層になり、(c) アレイの個々の導波路 (30) を形成する溝 (20) が導波路コア層 (18) の少なくとも一部に延びており、該溝 (20) が、隣合う導波路 (30) の間の光結合を阻止するために導波路コア層 (18) の屈折率を少なくとも1.5下回る屈折率を有する媒質を收容しており、(d) 導波路 (30) が不要な空間モードの出力を阻止するように設計されていることを特徴とする電気光学的材料から成る電気的にバイアス可能な導波路 (30) アレイを含む種類の電気光学的導波路デバイス。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 (a)デバイス(10)が多層構造であり、低屈折率を有する2つの光閉じ込め層(16, 32)の間にサンドイッチされた導波路コア層(18)を含み、(b)導波路コア層(18)がダイオード構造(16, 18, 32)の一部であり、閉じ込め層(16, 32)を介して印加された逆バイアス下に荷電キャリア空乏層になり、(c)アレイの個々の導波路(30)を形成する溝(20)が導波路コア層(18)の少なくとも一部に延びており、該溝(20)が、隣合う導波路(30)の間の光結合を阻止するために導波路コア層(18)の屈折率を少なくとも1.5下回る屈折率を有する媒質を收容しており、(d)導波路(30)が不要な空間モードの出力を阻止するように設計されていることを特徴とする電気光学的材料から成る電気的にバイアス可能な導波路(30)アレイを含む種類の電気光学的導波路デバイス。

【請求項2】 導波路(30)が幅 5λ 未満を有し、隣合う導波路の中心が 20λ 未満離間しており、 λ がデバイス(10)の導波路の自由空間動作波長であることを特徴とする請求項1に記載のデバイス。

【請求項3】 溝の媒質が空気であることを特徴とする請求項1または2に記載のデバイス。

【請求項4】 デバイス(10, 150)の少なくとも一部が、順次に積層された $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ 系の半導体材料層(16, 18, 158~166)から構成されていることを特徴とする請求項1から3のいずれか一項に記載のデバイス。

【請求項5】 光閉じ込め層(32)の1つが、導波路コア層(18)に対するショットキー接触であることを特徴とする請求項4に記載のデバイス。

【請求項6】 導波路コア層(162)が実質的に非ドープのGaAsから成り、光閉じ込め層(160, 164)がGaAlAsから成り且つ互いに反対の導電性を有することを特徴とする請求項4に記載のデバイス。

【請求項7】 光閉じ込め層(16, 160)の1つが、導波路(30, 152)の各々に共通であることを特徴とする請求項5または6に記載のデバイス。

【請求項8】 導波路(30)が、導波路コア層材料の共通結晶劈開面(24)内に夫々の光出力表面領域を有することを特徴とする請求項4から7のいずれか一項に記載のデバイス。

【請求項9】 導波路(30)が、夫々のボンドパッド(34)及び該ボンドパッドに接続された導線(33)を介してバイアス可能であり、ボンドパッド(34)はデバイス(10)の導波路(30)收容領域の周囲に配置され、導線(33)はデバイス(10)の光入力領域(41)にわたって延びていることを特徴とする請求項1から8のいずれか一項に記載のデバイス。

【請求項10】 受容導波路(222)アレイの入力領域に遠視野回折像を形成するように設計され、像が、受容導波路(222)のいずれか1つによって受容可能で且つ受容導波路アレイで案内可能なメイン回折ローブ(46)を有する

ことを特徴とする請求項1から9のいずれか一項に記載のデバイス。

【請求項11】 電気光学的受容導波路(206, 222)が半導体多層構造(200)として形成されていることを特徴とする請求項10に記載のデバイス。

【請求項12】 受容導波路(232)が入力領域に最小相対間隔を有することを特徴とする請求項11に記載のデバイス。

【請求項13】 長さ nL [n は1~ m で n 番目の導波路または電極を示し、 L は第1電極(V_1)の長さを示す]を有する夫々のバイアス電極(V_1 ~ V_7)を備えた m 個の導波路(W_1 ~ W_7)を組み込んでおり、電極群(V_1 ~ V_7)が共通のアナログ電圧入力(IP)に接続され、電圧入力の変化に応じて導波路出力群が、導波路出力焦点の通路に沿って配置されたデテクタ群(D_1 ~ D_7)を含むデテクタアレイ(418)と一緒に集束され、デテクタアレイ(418)が、アナログ入力電圧に対応するデジタル出力を与えるように設計された信号処理手段(420)に接続されていることを特徴とする請求項1に記載のデバイス。

【請求項14】 信号処理手段(420)が、各デテクタ出力信号を基準信号レベルに比較する比較手段(426)を含むことを特徴とする請求項13に記載のデバイス。

【請求項15】 導波路(W_1 ~ W_7)が夫々の第2バイアス電極(C_1 ~ C_7)を含み、該第2バイアス電極は、アナログ入力電圧0のとき共通の導波路出力焦点を生じさせることを特徴とする請求項13または14に記載のデバイス。

【請求項16】 デテクタアレイ(430, 440)が2次元であり、出力2進語を与えるように符号化されることを特徴とする請求項13から15のいずれか一項に記載のデバイス。

【請求項17】 デテクタアレイ(400)がグレイコードフォーマットであることを特徴とする請求項16に記載のデバイス。

【請求項18】 導波路コア層が光源波長で電界吸収性の材料から成り、導波路が、各導波路の夫々の2進数に対応するバイアスを与えるように設計された電気バイアス手段(m_1 ~ m_4 , V_1 ~ V_4)に結合しており、導波路の出力強度が、導波路アレイ(452)のバイナリダブリングプログレッションを形成するように重み付けされ、各導波路は、夫々のバイアス電圧(V_1 ~ V_4)が2進数に対応する2つの値の一方または他方のいずれの値であるかに従って不透過性または透過性になるように編成され、導波路の出力強度は、電極電圧(V_1 ~ V_4)に対応する2進数に従ってアナログ出力信号を与えるように設計された検出手段(466, 468)によって検出及び加算されることを特徴とする請求項1に記載のデバイス。

【請求項19】 導波路が、夫々の電極群(502₁~502_s)を有し、隣合う電極対は、RF入力(514)を有するチェーン(512)を形成する夫々の無線周波(RF)インダクタ(512₁~512_t)を介して互いに接続され、導波路は、夫々のデ

テクタ(510)に結像された夫々の出力を有し、パルス化レーザは、デテクタ(510)によって受信された信号に関するRF信号をインダクタチェーン(512)でサンプリングするために、導波路材料が電界吸収性になる波長を有する光(504)で導波路を照射するように設計されていることを特徴とする請求項1に記載のデバイス。

【請求項20】 アレイ(560)の各導波路(562)がパラボラ形の入出力領域(564, 566)を有することを特徴とする請求項1に記載のデバイス。

【請求項21】 共通源(404)から光を受容し共通回折像を形成するように設計された電気光学的材料から成る電氣的にバイアス可能な導波路(W1~W7)アレイを含み、(a)長さ nL [n は1~ m でアレイ中の導波路番号を示し、 L は第1電極(V1)の長さを示す]の導波路バイアス電極(V1~V7)を含み、(b)電極群(V1~V7)が共通のアナログ電圧入力(IP)に接続され、(c)入力アナログ電圧の変化に応じて導波路出力ビームが進行する通路に沿ってデテクタアレイ(D0~D7)が配置され、(d)デテクタアレイ出力が電極アナログ入力電圧(VA)に対応するデジタル信号を与えるように設計されていることを特徴とする電気光学的導波路デバイス(400)。

【請求項22】 (a)デテクタ出力と光源(404)から誘導されデバイス動作状態を示す基準信号とを比較する比較手段(426)と、(b)アナログ入力電圧(VA)が0のときに1つのデテクタ(D0)に導波路出力群(414)を結合すべく個別にバイアス可能な各導波路(W1~W2)毎の第2バイアス電極(C1~C7)とを含み、(c)デテクタアレイ(430, 440)が2次元で、出力デジタル信号を与えるように符号化されることを特徴とする請求項21に記載のデバイス。

【請求項23】 共通源(458)から光を受容するように設計された電氣的にバイアス可能な導波路(452)アレイを含み、導波路が電界吸収性で、個々の導波路出力強度を変化させるように設計された電圧バイアス手段(V1~V4)に接続された夫々のバイアス電極(m1~m4)に結合していることを特徴とする電気光学的導波路デバイス(450)。

【請求項24】 バイアス手段(V1~V4)が2進数に対応する電圧を与えるように設計され、個々の導波路は、対応する2進数が0であるか1であるかによって不透過性または透過性であり、透過性のときはバイナリダブリングスキームに重み付けされた夫々の出力強度を与え、導波路の出力が、バイアス手段(V1~V4)へのデジタル入力に対応するアナログ出力を与える共通検出手段(468)によって検出及び加算されることを特徴とする請求項23に記載のデバイス(450)。

【請求項25】 隣合うバイアス電極(502₁~502_s)が、信号入力(514)に接続されたチェーン(512)を形成する夫々のインダクタ(512₁~512₄)によって接続され、共通光源がパルス化レーザであり、導波路出力が、チェーン(512)に分布した信号のサンプリングを行なうために夫々

のデテクタによって検出されることを特徴とする請求項23に記載のデバイス(500)。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光ビームの案内(optical beam steering)に特に適した種類の電気光学的導波路デバイスに係る。

【0002】

【従来の技術】電気機械的運動に基づく光ビームの案内デバイスは当業界で公知である。代表的な装置は、電流駆動される移動コイルに装着されたミラーを含む。電気機械的システムは本来的に、約1kHzまでの低応答周波数に限定されている。

【0003】音響光学的な光ビームの案内デバイスも公知であり、例えば、Suhara、Nozaki及びNishiharaがProceedings of the IVth European Conference on Integrated Opticsに発表したものがある。該デバイスは、楕形音響変換器と光集束性回折格子結合器とを上面に備えたTiドーパLiNbO₃から成る光導波路を含む。格子結合器は凹面状であり、光出力を集束せしめる変動性(chirped)空間周波数を有する。無線周波(RF)信号が変換器に与えられ、該変換器が導波路内で光の伝播方向に対して横方向の表面超音波を発生させる。音波は導波路の屈折率を調製し、光伝播と相互作用する。格子結合器の出力焦点は、変換器に与えられたRF信号の周波数掃引によってラスタスキャンされるかまたはビーム案内される。偏向角は周波数にほぼ比例する。変換器は中心周波数約500MHz及びバンド幅330MHzを有する。このビーム案内デバイスは光分解能が極めて高い。しかしながら、出力ビームの最大案内速度は、変換器からでた音波の導波路内での伝播速度に依存し、約1MHzである。更に、周波数掃引されるRF信号源はコスト高であり、またデジタル電子回路部品とのインタフェースをとるのが難しい。デジタル信号に応じたビームの位置決めを達成するためには、信号を音響変換器のバンド幅内部のRF周波数に変換する回路部品を配備することが必要であろう。

【0004】電気光学的ビーム案内デバイスは、R. A. MeyerによってApplied Optics, Vol. 11, pp613~616, March 1972に記載されている。該デバイスは、厚さ0.1mm、幅23mm及び長さ15mmの矩形ブロックの形状のLiTaO₃結晶から成る。結晶の23mm×15mmの面は、各々が幅0.2mmを有し中心間距離0.5mmの平行な46個の電極を担持している。電極の長手方向は結晶の長手方向に平行である。平行光が23mm×0.1mmの結晶面に入力され電極の長手方向に平行に伝播する。結晶は電気光学的特性を有し、従ってその屈折率は電極電圧の関数である。結晶からの光出力の光学相も電極電圧に従って可変である。電極の中心直下の結晶領域からの光出力は、電極電圧に依存する。電極の縁端及び電極間領域で電界が不均一なので、結晶の対応する部分で伝播する光は不均一に位相変調さ

れその偏光状態が変化する。電極下方の中央領域に光出力を限定するために結晶がマスクで遮蔽されている。マスクは、 $100\mu\text{m}$ 平方の開孔群の直線状アレイを有する。

【0005】Meyerは、彼の装置のビーム案内性能について入手し易い情報を提供していないが、該装置は約0.2にわたってビームを案内し得ると考えられる。ビーム案内の範囲は、格子ローブ間の間隔によって設定される。これらの格子ローブは、1つのエレメントまたはマスクの開孔だけから生じた回折像の主要ローブ内部の個々の回折極大である。角度的なビーム案内範囲が小さいことが欠点である。有効な程度のビーム位置の線形シフトを得るためには、受光面がデバイスからかなりの距離に配置される必要がある。更に、デバイスの寸法が長さ数cmに及ぶという欠点がある。即ち、デバイスが高張った光学素子を構成する。これは、集積技術による製造、または別の電気光学的デバイス及び集積回路を備えた単一半導體ウェーハに組み込むために適当でない。

【0006】ビームの案内用の電気光学的導波路デバイスは欧州特許出願第0,130,859号(EPA 0130859)及び英国特許第1,592,050号(GB 1592050)に記載されている。これらの特許の各々は、電気光学的材料ブロック中での個別光導波路のアレイの形成を記載している。導波路は夫々の電極を備える。ブロックの電気光学的特性によって、電圧変化が導波路の屈折率の変化及び光路長の変化を生じさせるので、各導波路から放出される光の光学的位相は電極電圧によって制御される。導波路の出力は、互いに調整自在な相対位相を有するコヒーレント光の光源アレイを構成し、一連の回折開口群として作用する。従ってこれらの出力は回折格子と同様の遠視野回折像を与える。像は、個々のビームをオーバーラップさせる十分に大きい導波路出力から十分に離間した領域に形成される。

【0007】EPA 0130859は可視領域及び近赤外領域で動作するようにニオブ酸リチウムにチタンを拡散させた導波路アレイの形成を提案している。 $\text{Ga}_x\text{Al}_{1-x}\text{As}$ の使用にも言及している。1つの共通電極を形成するブロック内に導波路を拡散させる。各導波路は夫々に重合する夫々の第2電極を有する。約100個(91~101)の導波路を設け、各導波路を対応する第2電極より長くすることが提案されている。(導波路/電極)相互作用長さは40nmであり、電極制御電圧は $\pm 50\text{V}$ であろう。この文献の図1がほぼ案分比例で作成されていると仮定すると、長さ90nm以上の導波路が17nm以上ずつ離間している。従って、100個の導波路のアレイは幅1700nm以上になり、これは1mをはるかに上回る。これらのパラメータは、引用されているただ1つの寸法要因である電極長さに比例する割合に計算されている。遠視野回折像はこの種の導波路アレイの幅の10倍~100倍の範囲の最小距離に形成されると考えてよい。この距離は個々の導波路の寸法に応じて異なる。従って、確認できる限りでは、EPA 0130859はメ

ートルのオーダの長さをもち数十メートルの遠方に遠視野回折像を形成するGaAlAsデバイスを開示していると考えられる。これは電気光学的集積回路の製造に使用するためにはあまりにも大きい。従来の半導体のリソグラフィ加工と適合できるように、電気光学的半導体デバイスは典型的半導体ウェーハの直径である10cm以下の長さを有していなければならない。更に、光源及びアレイ出力デテクタのごときその他の構成素子と共に導波路がウェーハに集積される必要があるときは、アレイとその遠視野回折像との双方がウェーハの寸法以内に維持されなければならない。EPA 0130859のデバイスは寸法があまりにも大きいので、実用化が全く不可能であることは明らかであろう。

【0008】GB 1592050は、ニオブ酸リチウムにチタンを拡散させることによって形成された電気光学的導波路アレイを開示している。アレイは、各々が長さ18nmで幅 $8\mu\text{m}$ の光学的に不連続な12個の導波路を有し、これらの導波路が中心間距離即ちピッチ $40\mu\text{m}$ で配置されたものである。隣合う導波路の間、即ちアレイの平面内にバイアス電極が配置されている。動作特性値は示されていない。しかしながら、計算値によれば、空気中では波長 $1.06\mu\text{m}$ の遠視野回折像はデバイスの端部から10cmの距離に適切に形成されない。この距離は屈折率にほぼ比例し、従って屈折率nの材料中ではn倍になる。デバイスに対する光の入出力にはプリズムが使用される。従ってデバイスは、集積光学器械には適当でない嵩高い光学素子を組み込んでいることになる。GB 1592050は、導波路アレイの形成にGaAsを使用する可能性に言及している。しかしながら、GaAsデバイスの物理的寸法の問題には言及していない。公知のごとく、ニオブ酸リチウム中の単位電界あたりの屈折率変化はGaAs中よりも10倍も大きい。従って、同様のビーム案内特性を得るためには、GB 1592050に従って作製されたGaAsデバイスは長さ約20cmの導波路、即ち、従来のGaAs半導体ウェーハの2倍の寸法の導波路を必要とするであろう。GaAs媒質中の遠視野回折像は導波路末端から30cm以上も離間しているであろう。デバイスを偏向ビームデテクタのごときその他の構成素子と集積するには直径50cm以上の半導体ウェーハが必要であろうが、これは従来のウェーハの5倍の直径及び25倍の面積に対応する。

【0009】GB 1592050は動作波長を引用していないが、ニオブ酸リチウムは可視領域及び近赤外領域に適していると考えられる(例えばEPA 0130859参照)。これは自由空間の最大動作波長約 $1\mu\text{m}$ を意味する。従って、引用されたデバイスの寸法は、幅少なくとも8 λ で中心間距離少なくとも40 λ [λ は自由空間動作波長]の導波路に対応する。可視域の中央で、これらのパラメータは夫々16 λ 及び80 λ であろう。導波路の間隔は、隣合う導波路の間に光の相互作用が存在しないように設計される必要がある。即ち導波路が光学的に不連続でなければなら

い。デバイスはナノ秒のオーダーのスイッチング速度を有し、これらは動作周波数が数100MHzのオーダーであることを意味する。動作波長 $1.06\mu\text{m}$ で計算するとデバイスは隣合う回折極大間に約 1° の離間角を生じる。従って曖昧性をなくす必要があるときはこのデバイスのビーム走査能力は上記角度に限定される。

【0010】EPA 0130859及びGB 1592050は光伝播方向に垂直な電界の不均一の問題を抱える。双方ともブロック内に拡散によって形成された導波路を使用しており、前者はブロックを1つの電極として使用し、重なり合う平坦金属を他方の電極として使用している。後者は、電界が出現するブロック表面で各導波路の両側に設けられた電極を開示している。従って、電界はブロック内の深さに伴って減少する。これらの電極構造はいずれも、電気光学的に誘導された位相変化を均一にするために必要な均一電界を導波路内で生じさせることができないと考えられる。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】本発明の目的は上記に代替できる形態の電気光学的導波路デバイスを提供することである。

【0012】

【課題を解決するための手段】本発明は、電気光学的材料から成る電氣的にバイアス可能な導波路アレイを含む種類の電気光学的導波路デバイスを提供する。本発明デバイスの特徴は、(a)デバイスが多層構造であり、低屈折率を有する2つの光閉じ込め層の間にサンドイッチされた導波路コア層を含み、(b)導波路コア層はダイオード構造の一部であり、閉じ込め層を介して印加される逆バイアス下に荷電キャリアの空乏層を形成し、(c)アレイの個々の導波路を形成するために導波路のコア層の少なくとも一部に伸びる溝が設けられており、該溝は隣合う導波路の間の光結合を阻止するために導波路コア層の屈折率を少なくとも1.5下回る屈折率を有する媒質を収容しており、(d)導波路は不要な空間モードの出力を阻止するように配列されている、ことである。

【0013】本発明の利点は、従来技術に比較して極めて小型化されていること及び性能が改良されていることである。層状ダイオード構造を有するので、電圧降下が導波路のコア層に集中する。このため、所与のバイアス電圧に対する各導波路内の電界効果が極度に増進される。その結果として、所与の電圧に対してはるかに短い導波路で所与の光移相が得られる。更に、電界効果が極めて均一であり導波路コア層の厚さ方向に案内される。このため、導波路の断面における電気光学的位相変化の偏差が生じない。溝に収容された媒質は、各導波路の近傍でかなりの屈折率変化を与えるので、導波路の間に広い間隙の維持を要せずに高度な光学的分離を与える。従って、屈折率変化が0.1未満の従来技術よりも密集して導波路を実装し得る。従ってデバイス全体が極めて小型

化される。本発明は、幅 5λ で中心間距離 20λ 未満[但し、 λ は自由空間動作波長]の導波路を組み込むことが可能である。後述する本発明の1つの実施の形態は、幅 1λ で中心間距離 3λ で長さ 1.8mm の電気屈折性導波路を備えたGaAs導波路コア層を組み込んでおり、 $\lambda=1.06\mu\text{m}$ で動作する。このデバイスは空气中で 0.5mm 未満またはGaAs媒質中で 1.8mm 未満の範囲に完全形の遠視野回折像を形成する。この実施の形態及びその遠視野回折像は従来技術と違って、従来の半導体ウェーハ上にその他の構成素子と共に容易に集積され得る。更に、導波路電圧 20V の範囲では 20° までにわたり曖昧性の無いビーム案内を示す。これは従来技術に比較して1桁以上の改良に相当する。計算によれば、このデバイスは16GHzを十分に上回る速度のビーム案内が可能である。

【0014】好ましい実施の形態では、溝の媒質が空気($n=1$)であり、本発明は少なくとも部分的に、各々が $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ 系($n>3$)から成り順次に堆積された半導体材料層から構成されている。この実施の形態で、導波路/溝界面の屈折率変化は2以上であり、隣合う導波路の間に許容できない程度の光結合を生じることなく導波路の間隔をより接近させることが可能である。

【0015】ダイオード構造は種々の形態のショットキーバリアーダイオード構造でもよい。この場合、1つの光閉じ込め層が、導波路コア層との間にショットキー接触を形成する金属から成ってもよい。導波路コア層はGaAsでよく、第2の光閉じ込め層は $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ でよい。個々の導波路ショットキー接触を隔離するために溝が設けられ、各ショットキー接触は夫々のバイアス手段に接続されている。

【0016】またはダイオード構造がPIN構造でもよい。この場合、導波路コア層は互いに反対の導電性を有し低屈折率を有する2つの半導体光閉じ込め層の間の領域である。光閉じ込め層の1つは、各導波路に共通でもよい。この構造は $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ から成る光閉じ込め層または導波路クラディング層の間に実質的に非ドープのGaAs導波路コア層を含む。

【0017】1つの実施の形態においては導波路コア層が、使用光学波長で(電界吸収性の反対の)電界屈折性の材料から成る。この実施の形態では、本発明デバイスが電氣的に制御されたフェーズドアレイ(phased array)として作用し、該アレイからの出力ビームの方向は導波路アレイの電圧変化によって案内される。

【0018】本発明は、導波路からの光を空気のごとき異なる媒質に出力するように設計された不連続デバイスである。この場合、導波路は好ましくは導波路コア層の共通劈開面に光出力面を有する。ニオブ酸リチウムのごとき材料はこの種の劈開面を有していないので、極めて高い精度の研削及び研磨が必要であり、劈開面よりも不完全な光学品質の出力面しか得られない。

【0019】導波路アレイは、半導体材料ウェーハの第

1領域に形成され得る。該ウェーハはアレイの光出力が出現する第2領域を有する。第2領域は、夫々のビーム案内角で導波路アレイによって生成された主要回折極大を受容するように配置され且つ法的に整合した夫々の入力を各々が有する個々の受信導波路を組み込んでい

る。
【0020】2次元の光ビーム案内を行なうために本発明のデバイスを2つ以上組み合わせる装置を構成してもよい。本発明の個々のデバイスは、アレイに沿って非線形変化する導波路アレイの出力ビームに位相シフトを与えるように配置された導波路の電圧源と結合され得る。この結果、凹状の波面が得られる。この波面は必要に応じて1つ以上の焦点に集束されてもよくまたは光学収差の補償に使用されてもよい。

【0021】本発明は、電気光学的アナログ-デジタルコンバータ(ADC)を形成するように設計され得る。この場合、本発明は、共通入力に接続され夫々の長さ nL [但し、 L は最も短い電極の長さであり、 n は1から m である]を有する夫々のバイアス電極を有する m 個の導波路を組み込んでい

る。アレイの出力ビームはデテクタアレイのいずれか1つに形成され、アレイに沿ったその偏向は共通入力のアナログ信号の振幅(magnitude)に従う。ピークの受信デテクタの位置は所要のデジタル出力に対応する。導波路は夫々の校正電極を有し、予め配列されたアレイの1つのデテクタで入力アナログ電圧0の出力ビームを形成するために、校正電極に電圧が印加される。デテクタアレイは2次元でもよく直接デジタル出力を与えるように符号化されてもよい。
【0022】導波路コア層は、光源波長で電界吸収性の材料から成ってもよい。この場合、本発明は、デジタル-アナログコンバータ、パルスアナライザまたは時間集積相関器を形成し得る。デジタル-アナログコンバータは、個々の導波路がバイナリダブリングスキーム(binary doubling scheme)で変化する夫々の出力光強度を与える導波路アレイを含み得る。導波路は夫々の電極及び電極アドレッシング電圧を有し、電極アドレッシング電圧は二進数に対応する2つの値のいずれかであり、導波路を吸収性または透過性にするように編成されている。導波路の出力信号は、検出手段によって検出及び加算され、導波路電極のデジタルアドレッシング電圧に対応するアナログ出力を与える。パルスアナライザの実施の形態は、導波路電極群に接続され無線周波(RF)遅延線を与えるインダクタチェーンを含む。パルス化レーザからの出力は導波路群の間で分割され、該導波路の出力が夫々のデテクタによって検出される。RF信号は遅延線に与えられ、その長さにわたって分配される。個々の導波路内部のレーザパルス成分は、夫々のRF信号レベルに従って減衰し、従って遅延線上のRF信号のプロファイルがデテクタアレイでサンプリングされる。時間集積相関器は、レーザが基準信号によって変調される実質的に連続的なデ

バイスを形成していることを除いては、パルスアナライザと同様の構造である。基準信号と遅延線信号との間の相関によって、電気信号と光信号との同期が得られた導波路に結合したデテクタにピーク信号が生じる。

【0023】導波路アレイは、各導波路に接続された夫々のボンダパッドと導線とを有するバイアス手段によってバイアスされ得る。ボンダパッドは導波路を含むデバイスの領域の周囲に配置され、導線はデバイスの光入力領域に配線され得る。

【0024】本発明をより十分に理解するために、本発明のいくつかの実施の形態を添付図面に基づいて非限定的に以下に説明する。

【0025】

【発明の実施の形態】図1は、本発明の電気光学的導波路デバイス10の部分の(案分比例でない)概略斜視図である。点線12はデバイス10の隣接領域を示す。デバイス10は n^+ 形(高度にドーパされた n 形)GaAs基板14を含み、この基板のSiドーパント濃度は $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ である。 n^+ 形GaAsから成る厚さ $1.2 \mu\text{m}$ の導波路クラッディング層16が基板14に重層して設けられている。クラッディング層は同種及び同濃度のドーパントでドーパされている。

【0026】同じく厚さ $1.2 \mu\text{m}$ の導波路コア層18がクラッディング層16に重層して設けられている。層18は n^- 形(非ドーパ残留 n^- 形)GaAsから成り、Siドーパント濃度は $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ である。層14、16、18はすべて、 $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ 系であると考えてよく、層14及び18では $x=1$ であり、層16では $x=0.9$ である。長さ 1.8 mm 、深さ $1 \mu\text{m}$ 及び幅 $2 \mu\text{m}$ の溝20が層18の上面22に設けられている。溝20は、デバイス10の前面24から出発し水平な縁端26及び垂直な縁端28を有する(図示しない)平行な背面近くまで伸びているが背面に到達はしていない。溝20の終点は背面の縁端26から $400 \mu\text{m}$ 離間している。幅 $1 \mu\text{m}$ 及び長さ 1.8 mm のリブ状導波路30が溝20の間に形成されている。

【0027】各導波路30の上面はアルミニウム層32で被覆され、この層は部分33を介して電極ボンダパッド34まで延びている。層32及びパッド34を各1つずつ図示している。デバイス10は11個の溝20によって形成された合計10個の導波路を有しており、図1では2つの導波路と3つの溝を図示している。各導波路30は夫々のアルミニウム層32とボンダパッド34とを有し、各ボンダパッドは、夫々のDCバイアス電圧源に接続されている。バイアス電圧源を1つだけ符号36で示す。基板14はアース38に接続されている。

【0028】デバイス10の前面24及び背面26/28は光学品質の表面を与えるように慎重に劈開されている。従って、導波路コア層18は結晶質GaAsの劈開面から成る縁端領域を前面及び背面に有する(ニオブ酸リチウムのごとき材料ではこれが不可能である)。Nd:YAGレーザ(図示せず)からの矢印40で示される波長 $1.06 \mu\text{m}$ の光が背面を照

明する。光40は背面26/28の領域の導波路層18に直径1 μ mのスポット(図示せず)として集束される。このスポットは導波路の入力端から400 μ m離間している。次に光はスポットから導波路30まで発散する。デバイスの背面26/28と導波路30との間の領域41で光の発散が生じる。領域41はスラブ状導波路を形成し、導波路の共通入力手段を構成する。導波路30から放出される光ビームは発散矢印42で示される。ビーム42は結合しデバイス10から自由空間内の最小距離100 μ mに共通の遠視野回折像44を形成する。像44は、中央の光強度極大46と2つの副次的極大48,50とを有する。 -20° から $+40^\circ$ の角目盛り52は、デバイス面24から500 μ mの距離での極大46と50との間の隔たりを示す。

【0029】デバイス10の動作モードを以下に説明する。各導波路30は、波長1.06 μ mで屈折率 $n=3.46$ の n^- 形GaAsから成る。該導波路は、両側面(溝)が空気($n=1$)、第3の面(上面)がアルミニウム($n<1$)、第4の面(下面)が n^+ 形GaAlAsと境界を接している。従って各導波路30は4つの面全部が低屈折率の媒質と境界を接しており、導波路の内部を進む光は内部全反射によって種々の程度に閉じ込められる。本発明のいくつかの実施の形態においては、溝20にポリマーまたは酸化物材料を充填するのが適当である。その場合、導波路30の間の光結合を阻止するように、溝材料は導波路コア層18の屈折率を少なくとも1.5下回る屈折率を有していなければならない。空気充填溝20を用いるときに導波路30の光学的分離が最大である。

【0030】各導波路30内の光は水平方向では溝の側面の空気によって閉じ込められ、垂直方向ではアルミニウム電極32及びGaAlAs層16によって閉じ込められる。各導波路がほぼ矩形の横断面を有するので、モード電界強度 $E(x, y)$ は、水平成分 $E_h(x)$ (x の単独関数)と垂直成分 $E_v(y)$ (y の単独関数)との積として定義される。(このモードの記述を簡単にするために電界のベクトル性を無視し $E(x, y)$ 、 $E_h(x)$ 及び $E_v(y)$ をスカラー関数と仮定する)。所与の導波路モードの水平成分 $E_h(x)$ は「水平モード」と考えてよく、垂直成分 $E_v(y)$ は対応する「垂直モード」と考えてよい。このため、二次元関数を2つの一次元関数の積に変換することによって導波路モードの記述を簡単にする。(水平または垂直の)かかるモードが関連導波路から遠方即ち+または-の無限大で指数関数的に0に近付くとき、これは閉じ込めモードと呼ばれる。関連導波路から遠方で0に接近せず、(+または-の無限大に向かって)正弦波として続くときは、モードは閉じ込めモードでない。従って導波路から逸脱した伝播即ち「リーク」が生じる。

【0031】各導波路30は原則として、水平及び垂直の光伝播モード、即ち上記に定義されたように導波路コア層18の厚み方向に夫々垂直及び平行なモードを支える。これらのモードのうち、最も低次の垂直モードがエバネ

ッセントモードである。即ち、指数関数的に減衰し、アルミニウム層及びGaAlAs層内で0に近付き、従って導波路内部に閉じ込められる。アルミニウム層32においてある程度減衰が生じるが、それ以外には導波路に沿った伝播中に他からの影響を実質的に受けない。後述する本発明の実施の形態では上記の減衰を阻止できる。

【0032】各導波路30内の最も低次の垂直モードに閉じ込められない光強度は、アルミニウム中ではエバネッセントであり、GaAlAs層16内ではエバネッセントであるかまたは伝播する。しかしながらGaAlAs層16の厚さは、最も低次の垂直モードに閉じ込められないモードは、この層から基板にリークする、即ち伝播するような値である。従って導波路は実質的に最も低次の垂直モードだけを伝送する。

【0033】垂直モードの様相と対照的に、導波路30は必ずしも最も低次の水平モードに限定されない。隣接導波路相互間の光クロストークを阻止する要件と相容れないので単一水平モードの動作を実現することが実際には難しいからである。しかしながら、導波路30から、水平方向の次元及び垂直方向の次元で主として最も低次の空間モードから成る単一モードに限定された出力を得ることは重要である。

【0034】不要な高次の水平モードで導波路30からかなりの光強度が出力されることを防止するために、これらのモードの入力分を無視できる程度に受容するように導波路に光結合する。これは以下のごとくして得られる。デバイス10の背面26/28に入射する光40は、比較的高い開口数を有する(図示しない)顕微鏡レンズから受容される。光40は、表面26/28上の直径1 μ mの光スポットを「頂点」とした頂半角約 45° のコーンの形状である。光は、空気-半導体界面26/28で屈折され、共通入力領域41に頂半角約 12° のコーンを生じる。この第2のコーンの水平方向範囲は、入力面26/28に対して約 4° (半角 2°)を成す導波路30の照射に必要な範囲よりも大きい。導波路30はこの第2コーンの中央領域に配置され、該第2コーンでは光強度がほぼ均一である。従って各導波路30は、伝播中央軸に対して 3° 未満の傾角で入力光の強度を受容する。

【0035】導波路30の水平モードの分析は、導波路の軸に対して 3° 未満の角度の光入力に対して二次以上の高次モードの光強度が実質的に存在しないことを示す。従って入力光は実質的に水平面内の最も低次の空間モードだけを励起する。導波路30に沿ったその後の伝播中に、導波路材料及びその境界の欠陥は少量のエネルギーを二次及びより高次の水平モードに逸脱させる。理想的な導波路ではこのような逸脱は生じない。

【0036】要約すると、欠陥に敏感でない導波路30は、最も低次の水平及び垂直モードに実質的に閉じ込められた出力光強度を生じる。より高次の垂直モードの出力は、バッファ層16の空間濾過作用によって阻止され、

より高次の水平モードの出力は光入力の変調によって阻止される。その結果、組み合わせ導波路30は、実質的に最も低次の空間モードから生じた遠視野回折像44を形成する。より高次の導波路空間モードから得られる回折像は有意な強度で出現しないので、オーバーラップによって回折像44がぼやけることもない。図1のデバイスは出力光強度の95%以上を最も低次のモードで生じさせることが判明した。

【0037】より詳細に後述するごとく、導波路コア層材料が電気光学的特性(即ち電界屈折性)を有するので各導波路30内の屈折率及び光路長は電界依存性である。従って、任意の導波路のアルミニウム層32における電圧変化は、その光出力の位相を変化させる。遠視野回折像44は、導波路からの位相要素及び振幅要素のベクトル和であり、主要極大46の位置は導波路電圧の変更によって可変である。しかしながら、この場合、前記に説明したように、回折像のオーバーラップを避けることが重要である。その理由は、種々の導波路モード及びそれらの回折像が導波路の電圧の変化によって異なる影響を受けるからである。種々の回折次数のオーバーラップを回避できない場合、最も低次の案内に高次の要素が混入する。

【0038】各導波路30において光路長 L は式

$$L = nd \quad (1)$$

[式中、 n は導波路層18の屈折率、 d は導波路長]で示される。しかしながら n は電界依存性で

$$n = n_0 + nE \quad (2)$$

[n_0 は印加電界が無いときの屈折率、 nE は印加電界 E によって生じた屈折率の変化]で示される。より詳細に後述するごとく、 nE は2つの成分を有する。一方の成分の変化は電界の1乗に比例して変化し(ポッケルス効果)、他方の成分は電界の2乗に比例して変化する(カー効果)。これらの成分は同じ符号を有してもよく異なる符号を有してもよい。この実施の形態ではこれらの成分が加算成分である。これは2つの編成の組み合わせによって得られる。まず、各導波路30の長さに沿った光伝播方向に

【0039】

【数1】

【017】

【0040】(以下、[011]と記載する。)結晶軸をもつように導波路層18を配置する。次に、各導波路内の光を層18の(平面に垂直な)[011]結晶軸に平行に偏光する。

【0041】各導波路30の光路長は、夫々のアルミニウム層32に印加される電圧を変化させることによって変化する。アルミニウム層32は導波路30に対するショットキーバリアー接触を形成しており、金属/半導体の組み合わせ32/30の各々がショットキーバリアーダイオードである。どの場合にも各アルミニウム層32はどの場合にも適当な電圧源36によってアースに対して負にバイアスされている。これは夫々のショットキーバリアーダイオ-

ドを逆バイアスし、ダイオードの空乏領域を強化し、各導波路内の電界を増加する。これが導波路の屈折率及び光路長を変化させる。

【0042】各導波路の出力で光学位相を完全に制御するために、アルミニウム層32に印加される電圧に応じて出力位相を 360° 即ち 2π だけ変化できる必要がある。勿論、特定の用途に対しては本発明のフェーズドアレイを、完全以下即ち 2π 未満の位相制御を行なうように設計してもよい。出力位相の 2π の変化は、光導波路の1波長の変化に対応する。即ち等式(1)及び(2)で定義したパラメータを使用し、導波路30の内部の波長の数は、屈折率 n が n_0 から $n_0 + nE$ に変化するのに応じて、(必ずしも整数でない) m から $m+1$ の値にある程度変化する必要がある。即ち、

$$m = nd/\lambda \quad (3)$$

及び

$$m+1 = (n_0 + nE)d/\lambda \quad (4)$$

[式中、 λ は自由空間の光学波長]。

【0043】(4)から(3)を減算すると

$$1 = nEd/\lambda$$

即ち

$$d = \lambda/nE \quad (5)$$

である。

【0044】導波路層18に夫々[011]及び[011]の伝播方向及び偏光方向を有するこの実施の形態においては、アルミニウム層32に印加される電圧が0Vから21Vに変化すると、波長 $1.06\mu\text{m}$ での屈折率の変化 nE は 5.9×10^{-4} であった。式(5)の λ 及び nE に数値を代入すると

$$d = 1.06 \times 10^{-4} / 5.9 \times 10^{-4} = 1.8\text{mm}$$

であった。

【0045】従って、図1の実施の形態では、導波路長 1.8mm で0Vから21Vまで(30V未満)のバイアス電圧変化に対して 2π 即ち 360° の完全位相サイクルにわたる導波路出力位相の同調が可能である。かかる同調は導波路出力位相の完全制御を得るために必要であるが、デバイス10のある種の用途ではかかる制御が不要である。屈折率の変化 nE は式

$$nE = 1/2 \Gamma n_0^3 [\pm r_{41}E - R_{12}E^2] \quad (6)$$

[式中、 Γ は導波路層18の内部で案内される光強度の割合を示す導波路閉じ込め係数、 E は導波路内の電界、 r_{41} は一次電気光学係数(ポッケルス効果)、 R_{12} は二次電気光学係数]。

【0046】導波路層18の材料が n^- 形GaAsの場合、 r_{41} 及び R_{12} はいずれも負の値である。更に、等式(6)の r_{41} の前の \pm 符号は、図1の実施の形態のように[011]結晶方向の伝播及び[011]方向に沿った偏光の場合には $-$ 符号で置換される。この結果、等式(6)の括弧内の項が加算になり、 nE が $+$ になり、 nE の極大が得られる。

【0047】比較のために本発明の第2の実施の形態を製造した。第1の実施の形態との唯一の違いは、伝播方

向及び整列方向が入れ代わるように導波路層の結晶配向 (orientation) が交換されていることである。即ち、伝播は結晶の[011]方向に沿って生じ、偏光は[011̄]方向に平行に生じた。この場合、等式(6)の項 r_{41} に+符号がつき、括弧内の項は減算項になる。項 r_{41} が項 R_{12} よりも大きいので、結果的として、より小さい値の nE が負の値になる。屈折率は電界の増加に伴って減少し、非零電界での大きさは第1の実施の形態よりも小さい。

【0048】次に図2は本発明の前記の2つの実施の形態における導波路の出力位相変化の絶対値 $|\Delta\phi|$ (左縦座標軸)を電圧(下横座標軸)の関数として示すグラフである。実線グラフ60, 62は、十字印及び角印で夫々示された実験データに最もびつたりと一致した理論的計算値である。点線64は式(6)の一次項 $r_{41}E$ のポッケルス効果を示し、グラフ60, 62の湾曲は二次項 $R_{12}E^2$ の効果を示す。

【0049】図2の左上半部に定義した nE の絶対値は分かり易いようにグラフ60~64で示されている。厳密に言えば、グラフ60及び62は夫々+及び-の座標軸に対してプロットされるべきである。更に、グラフ64はグラフ60または62のいずれかに比較するかに従って+または-になる。しかしながら、この説明で重要なのは絶対値だけである。

【0050】グラフ60は前述の本発明の第1の実施の形態に対応する。該実施の形態では各導波路30の[011̄]結晶方向に光が伝播する。

【0051】グラフ62は第2実施の形態の[011]方向の伝播に対応する。いかなる特定の導波路バイアス電圧においてもグラフ60の導波路出力の位相変化がグラフ62よりも大きい。またグラフ間の差は電圧増加に伴って増加している。従って、GaAs導波路にはグラフ60の伝播方向[011̄] (偏光[011])が好ましい。その理由は、所与の印加電圧に対する位相変化が最大になるため、また、所与の印加電圧で所与の位相変化を得るために必要な導波路の長さが最小に短縮できるからである。このためデバイス10の製造が容易で導波路のキャパシタンスも減少する。結晶軸に対するこれらの伝播方向及び偏光方向はまた、閃亜鉛鉱(zinc blende)結晶構造即ち多くのII-VI族及びIII-V族の化合物半導体にも最適である。

【0052】図2の上部の座標軸は、導波路30の電界に関する目盛りを示し、右側の座標軸は電圧または電界に伴う屈折率変化 nE を示す。 $nE=5.9 \times 10^{-4}$ は印加バイアス電圧21Vに対応する。これは導波路長さ(1.8mm)に対する適当な設計基準として前述した。

【0053】次に図3は、本発明のデバイス10によるビーム案内を証明するために編成された光学系70の概略ブロック図である。いくつかの寸法が10cmのオーダーであり且つ残りの寸法が数100 μ mのオーダーであるため、光学系70の寸法は案分比例で図示されてはいない。図の上部に装置の寸法を示す。既出の部分は同じ参照符号で示す。

【0054】システム70は、米国の会社CVI Inc.によって製造されたC95モデルのNd-YAGレーザ72を含む。レーザ70は、直径2mmで波長1.06 μ mの0.5Wの出力ビーム74を発生する。ビーム74は開口数0.15及び倍率5倍の第1顕微鏡レンズ(MO)76に入り、30cm離れた距離でビーム直径5mmに拡大される ($1/e^2$ 強度点間で測定)。MO76は長さ0.5cmでレンズ72から3cm離間している。第1MO76からの光80は、30cm離間した第2MO82に入る。第2MO82は倍率20倍で開口数0.54でありビーム案内デバイス10から2mm離間している。該レンズはレーザ光を、デバイス10の背面即ち入力面で直径1 μ mのスポット84に集束させる。86でデバイス10からでる光は、第2MO82に等しい光学パラメータを有する約0.05cm(500 μ m)離間した第3のMO88に収集される。第3MO88はデバイス10からの光をコリメートし、導波路30を通らなかつた迷光を排除する。該レンズは光を50cm離間した赤外カメラ90に中継する。カメラは、電荷結合デバイス(CCD)アレイを組み込んでおり、日本の会社Hamamatsu Photonics K. K.によって製造されたものである。

【0055】システム70の素子を軸合わせするためには従来の手順を採用する。3つのMO76, 82, 88はすべてX方向及びY方向に可動な調整自在なサポートに装着されている。MO82, 88は更に、Z方向にも可動である。図に符号92で示すように、X方向は図の平面に垂直で、Z方向はシステムの光学軸即ち光ビームの方向に平行で、Y方向は図の平面内に存在する。

【0056】第1MO76の位置は、偏向されないビームが2.5倍に拡大されるように調整されている。第2のMO82は、偏向されない集束スポットがデバイス10に生じるように調整されている。スポットは実質的に回折制限されている。第3のMO88は、迷光を排除し導波路30によって生成された遠視野回折像から光を収集するように調整されている。遠視野はデバイス10から100 μ m以上離間した距離に対応する。

【0057】MO88の光入力面とデバイス10とは互いに500 μ m(0.05cm)離間しており、この距離は、迷光の排除と導波路30によって伝送された光の収集とに適した距離である。カメラ90の寸法が許せばカメラをデバイス10にもっと接近して配置してもよく、その場合、回折像全体を記録する第3MOが不要になるであろう。

【0058】図3ではデバイス10の複数の導波路が共通光源70によって照明される。これが典型的な設計である。変形としては、レーザがデバイス10と同じ半導体ウェーハに集積されてもよい。この場合、光は多岐マニホールド導波路構造によって個々の導波路に分配され得る。しかしながら、複数の光源が互いに位相コヒーレントであるならば、複数の導波路が別々の光源によって照明されてもよい。

【0059】次に図4及び図5は、光強度(任意の単位)対回折角度($^\circ$)の関係を示すグラフである。夫々の図に

において、上方の図面は図3のシステム70を用いた実験によって得られた値を示し、下部の図面は理論的に計算された値を示す。

【0060】図4において、上部のグラフ100は、全部が実質的に互いに位相合わせされた導波路の光出力を発生する導波路30に電圧が作用したときのデバイス10からの出力光強度の角度依存性を示す。このグラフは0°に極大、即ち導波路の長手方向に平行またはデバイス10の出力前面24に垂直に極大102を生じる。この場合、導波路30は定格的にはすべて同じ長さを有する。導波路30からの出力は、全部の電極ボンダッド34に等しい電圧を印加したときに互いに同位相になることが要求されるが、波長の数分の1の単位まで正確に等しい長さの導波路を製造することは不可能である。従って実際には、0°に極大102を生じるようにパッド34の電圧を相対的に調整した。

【0061】主要極大102はバンド幅(半値の全幅)1.5°を有する。この極大102と同時に夫々約+20°及び-20°の角距離即ち回折角により高次の回折極大104, 106が存在する。

【0062】下部のグラフ100'において上部グラフ100 *
【表1】

*に対応する数値はプライム記号(')を付けて示す。極大102, 106と極大102', 106'との位置が十分に一致することが理解されよう。

【0063】次に図5も実験的及び理論的なグラフ110, 110'を示し、図4と同様にグラフ110'においてグラフ110に対応する数値はプライム記号(')を付けて示す。グラフ110には2つの主要な極大112及び114が出現し、これらは夫々回折角約-10°及び+10°に存在する。2つの高次回折極大116, 118は解像直後に(just resolved)約-30°及び+30°に出現する。グラフ110は、各導波路の光出力と隣接導波路の光出力とが反位相になるような導波路電圧を使用して得られた。即ち、n番目の導波路の光出力は位相 $(n-1)\pi + \phi$ [但し、 ϕ は定数]を有していた。

【0064】グラフ100, 110を作成するためにデバイス10の特定実施の形態に使用された導波路電圧を表1に示す。これらの電圧は本発明の別のデバイス一般には適当でないかもしれないことを指摘しておく。その理由は、製造公差によって導波路の長さにばらつきがでるからである。

20 【0065】
【表1】

表 1

導波路電圧(V)

導波路番号	グラフ 100(第4図)	グラフ 110(第5図)
	同位相導波路 0/PS	交番位相導波路 0/PS
1	1.5	6.8
2	3.4	5.9
3	4.6	9.9
4	7.4	9.1
5	20.9	3.2
6	18.9	13.5
7	7.2	0.8
8	6.5	21.3
9	23.6	16.5
10	18.9	2.5

【0066】図4及び図5は、導波路30に印加する電圧を変化させることによってデバイス10が0°から±10°まで案内可能な出力ビームを発生し得ることを証明する。これは1つのビームを2つに分割するためまたは1つのビームを角度10°だけ案内するために使用され得る。従ってデバイス10は、電子制御された1方向もしくは2方向のスイッチと考えることもでき、またはビーム偏向デ

バイスと考えることもできる。更に、これらの応用は、2つの電圧を組み合わせる導波路30に印加するだけで得られる。その他の電圧の組み合わせによってその他の多くの応用、例えば1つの角度範囲にわたる漸進的案内が可能である。図4及び図5の実験と理論との一致からも明らかのようにデバイス10は工学的設計のために予め計算された通りの性能を発揮できる。

【0067】デバイス10の導波路アレイは極めて高速で動作し得る。電極/導波路キャパシタンスの計算は1GHz以上及び約10GHzのスイッチング速度を示す。これは当業界の既存の高速デジタル電気回路よりも1桁速い速度である。従って、本発明の使用は、デバイス本来の特性によって制約を受けることはないが、従来の電子素子の欠点に起因する制約を受けると考えられる。デバイス10の全体速度は、ボンドパッド及びリード33/34によって低下する。しかしながら、公知の絶縁技術によって、導波路アレイの動作速度に近い動作速度を得るように改良することが可能であろう。

【0068】図4及び図5は、デバイス10が幅1.5'の光ビームを20'案内し得ることを示す。より狭くより接近した導波路をより多数組み込んだ同様のデバイスは幅0.1'未満のビームを80'以上にわたって案内し得るであろう。

【0069】デバイス10を以下のごとく作製した。基板14は市販のGaAs単結晶材料から成る。金属有機物化学蒸着(MOCVD)によってクラディング層16及び導波路層18を基板に順次成長させた。この技術は半導体材料の業界で当業者に公知の完成した半導体成長技術であるからここでは詳細に説明しない。導波路層18を電子ビーム(e⁻)レジストで被覆し、電子ビームリソグラフィ(EBL)装置でレジストを照射して10個のボンドパッド34の領域を形成した。次に照射済みのレジストを除去してTi/Pd/Au合金で被覆するためにパターン化レジスト層を形成した。被覆したレジストをアセトンに溶解し、導波路層18にデポジットされたボンドパッド34を残した。これは「リフトオフ(lift-off)」法と呼ばれる。次いで、導波路層18に第2のe⁻レジスト層をデポジットし、レジストにEBLを照射して導波路電極領域と導波路/ボンドパッド接続領域とを形成した。照射済みのレジストを除去して導波路層18のレジスト非含有領域を形成した。パターン化レジストの表面を蒸着アルミニウムで被覆し、非照射レジスト及びその不要なアルミニウムをアセトンに浸漬して除去した。この処理で、導波路電極32及びボンドパッド34への結線33が形成された。次いで導波路層をレジストで再度被覆し、溝20の形成が必要な領域からレジストを除去した。次いで基板14を反応性イオンエッチング装置に入れ、CCl₂F₂エッチャントを用いて溝20を形成した。アルミニウム電極32は導波路30にイオン遮蔽を与え、レジストはボンドパッド34及び結線33にイオン遮蔽を与えた。反応性イオンエッチングは完成した技術であるからここでは詳細に説明しない。次いで、デバイス10にダイヤモンド針で筋を引き、支持縁に沿って切断して導波路の出力面24及びデバイスの背面26/28を形成し

た。導波路を損傷しないように導波路自体には筋を入れなかった。

【0070】次に図6から図9は、図4及び図5に示す結果を得るために使用されたデバイス10の顕微鏡写真のコピーを示す。説明済みの部分は同じ参照符号で示す。図6は倍率101倍のデバイス10の平面図である。ボンドパッド34及びそれらの結線33が視認できるが溝20及び導波路30は視認できない。図7はアルミニウム導波路電極32とボンドパッド34(図示せず)への結線33との間の相互接続領域を示す。図8は図7には存在しない導波路電極の部分を示す。図7及び図8は倍率1015倍である。

【0071】図9はデバイス10の部分の斜視図を示す倍率約4000倍の走査型電子顕微鏡写真である。劈開された導波路出力面24、導波路30、溝20及びアルミニウム導波路電極32がはっきりと視認できる。

【0072】自由空間中で波長1.06μmの光でデバイス10を使用した場合を説明した。クラディング層16はGa_{1-x}Al_xAs[x=1(屈折率n=3.40)]であり、導波路層18は非ドープGaAs(n=3.46)である。またはクラディング層が別のGaAlAs系の三元化合物、例えばx=0.3(n=3.28)の化合物から成ってもよい。

【0073】次に図10は、デバイス10の端面24の部分の斜視図を示す。説明済みの部分は同じ参照符号で示す。この図に示されたデバイスの寸法h1~h3及びw1~w3は以下を意味する。

【0074】h1=導波路コア層18の厚さ、
h2=クラディング層16の厚さ、
h3=(アルミニウム32の厚さを無視した)層18の溝20の深さ
w1=導波路30の幅、
w2=溝20の幅、
L=導波路の長さ、
D=デバイス入力面26/28から導波路30までの距離、
P=デバイス10から空気中で遠視野回折像が形成されるまでの最小距離(焦点合わせ不在)。

【0075】表2は使用光の自由空間波長λに関する値h1~Pの設計データを示す。但しλは1~10μmである。導波路コア層18はGaAsである。

【0076】表2の設計パラメータは臨界的なものではなく指標的なものである。設計に関するより一般的な条件に関しては後述する。デバイス10の背面26/28に入力焦点の線を形成するために円柱レンズを使用する場合には、Dの値を小さくし得る。h1~h3はバッファ層の組成に依存するが、w1~Pは少なくとも最初の近似式までは依存しないことに注目されたい。

【0077】

【表2】

表 2

デバイスパラメータ	クラディング層の組成 $Ga_{1-x}Al_xAs$	
	$x=0.1$	$x=0.3$
$h1$	$0.8\lambda \leq h1 \leq 1.2\lambda$	$0.5\lambda \leq h1 \leq 0.8\lambda$
$h2$	$h2 \geq \lambda$	$h2 \geq 0.8\lambda$
$h3$	$h3 \geq 0.8h1$	$h3 \geq 0.8h1$
$w1$	$0.4\lambda \leq w1 \leq 2\lambda$	
$w2$	$w2 \geq \lambda$	
L	$L \geq 1800\lambda$	
D	$D \geq 300\lambda$	
P	100λ	

【0078】溝20は導波路コア層18の5/6の範囲まで延びている。これは特定の導波路ピッチと動作波長とを調整した値である。即ち、相反する2つの要件を以下のように折り合わせる必要がある。導波路コア層18のエッチング深度が増加すると光分離(optical isolation)が強化され、隣合う導波路の間のクロストーク即ち光結合が減少する。エッチング深度の増加は逆に、各導波路間の化学腐食表面の面積を増加させ、かかる表面での光散乱を増加させ、その結果として、不要な光学モードを励起し、光損失を増加させる。従って、適当な光分離を達成するために必要な最小限のエッチング深度を選択する必要がある。導波路間の離間($w2$)が大きいかほど所要エッチング深度が減少し、また光分離も改良される。特定の設計に関する出力回折像を観察することによって空間モードの分量(content)を試験し得る。更に、スラブ状入力導波路41を除去するために導波路入力デバイス10を劈開することによって1つの導波路の入力に光を集束させ、光結合を測定するために全部の導波路の出力をモニタし得る。2つ以上の導波路からの有意な出力が存在すると、溝の深度及び/または導波路間の間隔を増加させる必要がある。

【0079】表2の値はGaAlAs上のGaAs導波路に関して得られた値である。別の導波路材料を使用する場合、設計パラメータは屈折率及び/または電気光学係数に合わせて適当に調整される。このような条件は電気光学の業界でよく知られているのでここでは詳細に説明しない。

【0080】より一般的に、本発明で考慮すべき設計条件を以下に説明する。適当な性能を維持しながら寸法をできるだけ小さくするのが望ましい。導波路の中心間距離(アレイピッチ $w1+w2$)の減少に伴って不要なサイドローブ(より高次の回折)の回折角が増加する。メインローブが 0° (照準線)に存在するとき、1つの光学波長のアレイピッチは $\pm 90^\circ$ にサイドローブを生成する。該当する

光学波長は、アレイの光出力を受容する媒質(例えば空気)中の波長である。主ビーム即ちメインローブの案内の結果、導波路内部での内部全反射によって1つのサイドローブが消滅する。0.5波長のアレイピッチは主ビームの全案内角度に対して不要なサイドローブ全部の内部全反射を生じさせる。0.5波長を下回るようなアレイピッチの減少は、アレイの回折特性を改良せず製造を難しくするだけである。アレイピッチが一定である必要はない。アレイの回折特性は、デバイス10の出力端面24のアレイピッチによって制御される。従ってデバイスは、出力端面でピッチが減少した導波路アレイを組み込んでもよい。この場合、光結合を減少させるように端面から遠くなるに伴って導波路間の間隔を拡大してもよい。

【0081】アレイピッチ($w1+w2$)の極大値は、ビーム走査角度の最小許容範囲によって規定される。その理由は、この範囲がピッチの増加に伴って減少するからである。20波長のアレイピッチはデバイスに 3° の範囲の走査角を与える。10波長以下のアレイピッチの場合には、隣合う導波路群の光分離に必要な急激な屈折率変化を与えるために、導波路の内部溝20に空気が充填されるのが望ましい。製造の観点からは溝20を SiO_2 またはその他の絶縁材のごとき材料で充填するのが好都合である。その場合、充填材ができるだけ低い屈折率を有する必要がある、いかなる場合にも導波路コア層18の屈折率を少なくとも1.5下回る値でなければならない。

【0082】直径10cmの領域の単一半導体ウェーハ上にその他の構成素子と共に集積できる十分に小さいビーム案内デバイスを製造することが強く要望されている。案内されたビームをウェーハから送受信する2つの動作が必要な場合には、デバイス及びその遠視野回折像の両方がウェーハより小さくなければならない。 $w1=0.3\mu m$ 及び $(w1+w2)=0.6\mu m$ で波長 $1.06\mu m$ で動作する20個の導波管を備えた本発明のデバイスは、出力面24から空気中

で100 μm の距離にほぼ完全形の遠視野回折像を形成する。 $w=3\mu\text{m}$ 及び $w_2=10\mu\text{m}$ の同様のデバイスでは前記距離6mmである。GaAs媒質中に出力される場合には、これらの距離は約3.6倍になる。これに比較して、英国特許第1,592,050号の従来技術のデバイスは幅8 μm でピッチ40 μm の導波路を使用している。かかる導波路20個を使用した場合、動作波長1.06 μm で遠視野回折像は空气中で10cm以上遠方に生じる。

【0083】個々の導波路の幅 w_1 を縮小すると、より広いより均一な回折像エンベロープが生じ、案内角に伴う主ビーム強度の変化が小さくなる。 w_1 の最適値は導波路出力を受信する媒質中で0.5波長であるが、導波路内部の内部反射損の増加を代償として w_1 の値を更に縮小することも可能である。導波路の妥当な最小幅は0.3波長である。

所与の任意のアレイピッチにおける個々の導波路の最大幅 w_1 は、隣合う導波路の間に有意な光結合またはクロストークを生じることなく少なくともほぼ(90%以上)単一モードの出力を得るための条件によって規定される。導波路の幅は好ましくは、アレイピッチの1/2以下である。即ち $w_1 \leq 1/2(w_1 + w_2)$ または $w_1 \leq w_2$ である。10波長のピッチアレイに対する w_1 の妥当な最大値は3波長である。回折エンベロープは狭くなり、主ビーム強度は出力面の導波路幅を増加させるためにビーム角度に伴ってより大きく変化する。

【0084】ボンドパッド34が絶縁されておりキャパシタンスに寄与しないと仮定すると、デバイス10は導波路の長さ1mmあたり0.1PFのキャパシタンスを有する。50ohmの抵抗を伴う長さ2mmの導波路は、周波数100GHzに制限される。しかしながら、GaAs中の50GHzの信号の波長は約2mmであり、信号の正及び負の半サイクルは互いの効果を相殺し得る。この結果、3dBの遮断周波数が約25GHzに低下し得る。これに比較して、英国特許第1,592,050号のデバイスの計算遮断周波数は約2.2GHz以下である。従って本発明は、動作周波数を少なくとも1桁改良し得る。

【0085】次に、図11は、図4及び図5の強度/角度のグラフ100及び110の基になる遠視野回折像の2つの写真のコピーである。前記の特性値(features)を同じ参照符号で示す。上方の写真140では0°に極大102が存在し±20°の角度を隔てて副次的極大104, 106が存在する。下部の写真42では±10°に極大112, 114が存在する。図4及び図5のより微弱な特性値は検出されない。図11は、デバイス10が水平面、即ち導波路30の軸を含む平面内に極大の精細度及び分解能を生じること示す。しかしながらデバイス10は、直交方向の強度の範囲を顕著に確定してはいない。これは、極大102、等が図11の垂直方向に拡大していることから明らかである。かかる拡大を抑制するために、アレイ出力をコリメートまたは収束させる円柱レンズを使用してもよい。レンズの円柱軸は導波路

の平面内に存在し導波路の長さ方向に垂直であろう。

【0086】デバイス10の光出力処理能力を波長1.06 μm で試験した。各導波路30は少なくとも20mWを許容し、デバイス10の10個の導波路は合計で200mWを与える。デバイス10と同様であるがより長い波長用に設計された本発明の実施の形態は、波長に比例して設定された線形寸法を有するであろう。波長10.6 μm のCO₂レーザー光線の場合、導波路の断面積は100倍も大きくなり、原則として導波路あたり少なくとも2Wの出力処理能力を与える。従って、多数の導波路を備えた実施の形態は、高出力レーザーを案内するために必要な大きい出力容量を有するであろう。デバイス10及び同様の実施の形態の制約はアルミニウム層32の加熱によって規定される。アルミニウム層は導波路30の内部から放射線を吸収し、約10dBの損失を与える。図13に基づいて後述する本発明のPINダイオードの実施の形態ではこの制約を解消できる。デバイス10と後述するデバイスの両方の利点は、所与のビーム案内性能に必要な電力が極めて少なく、従来技術のデバイスよりもはるかに少ないことである。

【0087】次に、記載済みの部分を同じ参照符号で示す図12は、本発明の2つのデバイス10a, 10bの部分概略図である。デバイス10a及び10bは、同一平面内に端面即ち導波路出力面24a, 24bを有するように編成されている。しかしながら、導波路アレイは互いに直角に配置されてT形構造を形成している。即ち導波路30bは、導波路30aを含む水平面の中央の上方に垂直に順次配列されている。この設計では、適当な導波路バイアス電圧で2つの方向で案内可能なほぼ円形の主要回折極大が生じる。

【0088】図12と同様のその他の設計も可能である。1つの可能性はL形構造である。即ち、前記同様に2つのデバイス10が、同一平面上に端面24を有し導波路が互いに垂直になるように配置されるが、導波路が端端接続されている。または、中空の方形を有するように4つのデバイスを編成してもよい。または、4つのデバイス10を、2つのL形配置の頂点を互いに接続した構造と等価のX構造に編成してもよい。いずれの場合にも4つのデバイス10は中央支柱に集成される。導波路のバイアス電圧を調整することによって対称性からの逸脱をある程度調整できる。実際、設計の幾何学的な逸脱が単なるバイアス電圧の調整によって改善できることは本発明の重要な利点である。導波路のバイアス電圧を変化させることによって、デバイスの理想形からの幾何学的な逸脱によって生じた導波路の出力位相のずれを補正し得る。

【0089】図12の構造、及び同様のL形、中空方形及びX形構造は、前記のごとく構成された個々のデバイス10のアセンブリから製造され得る。デバイス10を1つまたは複数の別のデバイスに対して相対的に調整するために公知のマイクロ操作装置を用いる。調整後、デバイスアセンブリを樹脂に封入し得る。かかるアセンブリの個々のデバイスは、組み合わせ光出力を観察することによ

って相対的に位置決めされ得る。各デバイスは、導波路電圧調整によって所与の回折像を生じるように編成され得る。

【0090】正確に相対位置決めされたデバイスから得られる2つの組み合わせ像は、予め設定可能な組み合わせ像を生じるであろう。従って、所望の組み合わせ像が得られるまで一方のデバイスを他方のデバイスに対して相対移動させるだけでよい。勿論、各デバイスの各導波路への光入力がデバイスの作動中に変化しないことが重要である。

【0091】アセンブリ中の個々のデバイス10は分岐ファイバ光結合器を介して単一光源から入力光を受容し得る。

【0092】次に図13は、本発明の変形例150の一部を(案分比例でない)部分斜視図で示す。デバイス150は、両側に隣接溝154を備えた中央導波路152を有する。図を分かり易くするために導波路を1つだけ図示したが、実際にはデバイス10に関して前述したように多数の導波路/溝構造が使用される。

【0093】デバイス150は、厚さ $1\mu\text{m}$ のp形GaAsバッファ層158を担持するp形GaAs基板156を有する。層158は任意であり削除してもよい。この組み合わせに、Znドーパント濃度 $5\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ を有するp形Ga_{0.9}Al_{0.1}Asから成る厚さ $1\mu\text{m}$ の下部クラディング層160が積層されている。層160はドーパント濃度 10^{15}cm^{-3} を有する π 形(非ドープだが残留p形)GaAsの導波路層162を担持している。層162は導波路152のコア層を形成しこの領域で厚さ $1\mu\text{m}$ である。また、溝154の底面を形成しこの領域では厚さ $0.2\mu\text{m}$ である。Siドーパント濃度 10^{17}cm^{-3} を有するn形Ga_{0.9}Al_{0.1}Asから成る厚さ $1\mu\text{m}$ の上部クラディング層164が層162の導波路領域に積層されている。この層はSiドーパント濃度 $3\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ を有する厚さ $0.3\mu\text{m}$ のn⁺GaAs層166を担持している。Au/Ge合金のオーミック接触層168がn⁺層166を被覆している。

【0094】導波路152はPINダイオード構造を構成しており、層160、162及び164は夫々P、I及びN領域を構成している。光はダイオードのI領域即ち層162に案内される。動作中にダイオードは逆バイアスされ、層162のI領域に高電界が生じる。多数の溝/導波路構造に拡張されたデバイス150の動作は、デバイス10に関して前述した動作と同様である。デバイス150の利点は、デバイス10と違って、透過された光強度の減衰を生じさせる導波路層162と接触した金属層が存在しないことである。勿論、吸収を阻止するために導波路コア層18とアルミニウム層32との間に層164と等価の非ドープ上部クラディング層を導入することも可能である。

【0095】実用的なデバイス150の実施の形態では、多数の導波路152と、背面26/28と導波路入力との間でデバイス10の背面領域41と等価の入力領域に光結合された溝154とが組み込まれるであろう。n⁺層166の存在によ

てデバイス150の背面領域は、電極33とボンドパッド34との間の等価の結線33と一緒に短絡させるであろうが、この解決は容易である。各導波路152の光入力端で層166にノッチを設け、このノッチを層164の途中まで到達させる。次にn⁺層166の背面領域(導波路152でない処)をポリミドのごとき誘電体で被覆し、ノッチにも該誘電体を充填する。前述のエレメント33/34と等価の金属化ボンドパッド及びその結線を背面領域の誘電性被膜の上に形成し、個々の導波路とのオーミック接触168との接続を維持して互いに絶縁させる。

10

【0096】図14はデバイス150の好ましい設計パラメータを示す。前記に記載の部分は同じ参照符号で示す。この図は、デバイス150の端面170の斜視図であり、パラメータ $h_1\sim h_4$ 、 w_1 及び w_2 を示す。デバイスは更に、図示しないパラメータL、D及びPを有する。 h_4 以外のパラメータに関してはデバイス10において説明した。パラメータ h_2 、 h_3 、 w_1 、 w_2 、L、D及びPは表2に示した値である。デバイス150のパラメータ h_1 は、デバイス10の h_1 とは異なる値であり、 $0.5\lambda\sim 1.0\lambda$ の範囲である。パラメータ h_4 はn⁺層166の厚さであり、 0.5λ 以上でなければならない。

20

【0097】本発明の光ビーム案内装置は、光学的読取り及び書込み用に使用され得る。書込みの際には、回折ビームを受容す光感受性表面を有する前記の実施の形態のいずれかを使用するだけでよい。不要な回折次数は導波路出力のコリメーションによって除去され得る。または、より密集して実装されたより多数の導波路をデバイスに組み込んでもよい。この結果、より幅の狭い主要極大を得ることができ、副次的極大はより大きい回折角でシフトする。

30

【0098】図15は、本発明のデバイス10を組み込んだ光読取装置の概略平面図を示す。光読取装置全体が符号180で示される。読取装置180は、デバイス10から焦点距離 f_1 だけ離れた第1の球面レンズ182を有する。デバイス10からでた光はレンズ182を介して傾斜45°のビームスプリッタ184に入り、そこから焦点距離 f_1 の円柱レンズに入る。レンズ186の湾曲軸は図の平面内に存在し、レンズの中心とデバイス10とを結ぶ線に垂直である。光はレンズ186を経由し、読取るべきデータを記憶した光ディスク188に入る。レンズ186/ディスク188の離間距離は f_1 に等しい。ディスク188から反射された光はレンズ186を通過して戻り、ビームスプリッタ184で反射される。焦点距離 f_2 の第3のレンズ190が、ビームスプリッタ184からの光をGaInAs光ダイオードデテクタ192の $40\mu\text{m}\times 10\mu\text{m}$ の大きさの光感受性領域(図示せず)に集束する($f_1=f_2$ の場合)。レンズ190/光ダイオード間は f_2 に等しい。

40

【0099】光読取装置180は以下のごとく動作する。第1レンズ182によってデバイス10からの光を平行にしコリメートして不要な副次的極大を除去する。円柱レンズ186はディスク188の表面の小スポットに光を集束す

50

る。即ちレンズ186は、図11のごとく発生する筈のデバイス10の平面に垂直な方向のビームの発散を消去させる。デバイス10の導波路出力の実像が第3レンズ190によってデテクタ192の表面に形成される。像の大きさはデバイス10の光出力領域の大きさの f_2/f_1 倍である。入射光が集束される場所で光ディスクが反射性であるか否かに従って、像の強度に高低が生じる。従ってデテクタ192は、ディスク188の当該場所の符号化ビット値に対応して高い値または低い値になるデジタル電圧出力を与える。デバイス10に印加される導波路電圧を変化させることによって光焦点が1方向に(図の平面内で)走査される。この結果、ディスク188の隣接する符号化ビットが順次読取られ、デテクタ192から出力される。別の情報を読取るために引き続いてディスク188を回転させる。図12の装置を使用すると2次元の電気光学的読取りが可能なのでディスク188を回転させる必要がない。

【0100】光読取装置180またはその他の用途でビームの案内または走査を行なうために、デバイス10の各導波路30の出力位相をデジタル電子制御してもよい。逐次走査を反復する場合、各導波路は夫々のメモリからデジタル導波路電圧情報を受信する夫々のデジタル/アナログコンバータ(D/A)から一連のバイアス電圧を受容する。これに応じて、メモリに与えられるクロック信号は導波路出力ビームの位相値を順次生成する。従って、全部のメモリが同期的にクロックされると、図4及び図5に関して前記に説明したようにデバイス10の遠視野回折像に主極大位置が順次出現する。

【0101】図15のデバイス180のデテクタ192は少なくとも5GHzの動作速度が可能な公知のデテクタである。キャパシタンス条件から考慮すると、デバイス10は1GHz以上の速度で印加導波路電圧に回答し得る。導波路電圧を与えるためにメモリ及びD/Aコンバータを使用すると、公知のデジタル電子素子で0.3GHzまでのメモリクロック速度を実現し得る。光ビーム案内速度の限定要因は従来の電子素子にあり、本発明には起因しない。

【0102】次に案分比例でない図16は、1~N方向スイッチと考えてもよい本発明の別のデバイス200の概略図である。デバイス200は平面図で示されており、図1の順次積層(図示せず)を有する半導体多層構造である。

【0103】デバイス200は、光入力縁202と両端が閉鎖された第1組の溝204(斜線領域)とを有する。溝間領域にビーム案内導波路206が形成され、前述のごとく(図示しない)埋設された導波路下部クラディング層までエッチングされている。分かり易いように、5つの溝204と4つの導波路206とだけを図示するが、デバイス200は、図1及び図6から図9に関して説明したデバイス10と同様に10個の導波路を有する。溝204は入力縁202から0.3mm離間し、両者間に光拡大領域208が存在する。入力光が溝204にバイパスされないように、(図示しない)開口停止手段を設けてもよい。溝及び導波路の寸法は表2

に示した値である。導波路206は、ボンドパッド212に接続された電極210を有し、電極及びボンドパッドは各2つずつ図示されている。エレメント202~212はデバイス10と等価のビーム案内デバイス214を形成する。

【0104】第2組の8つの溝220は、埋設クラディング層までエッチングされ7つの受容導波路222を形成している。受容導波路222はビーム案内導波路206から光を受容するように設計され、長さ1.8mmの溝のない中央領域224によって導波路206から隔てられている。溝220及び導波路222は長さ3mmで幅 $10\mu\text{m}$ であり、深さ方向の寸法に関しては溝204及び導波路206と同様である。受容導波路222は縁226を有するデバイス200の端面で終了し、ここから光出力が得られる。点線228で示すように、デバイス214の中央は中央の受容導波路222aに軸合わせされている。線228は非偏向出力ビームの方向に対応する。

【0105】デバイス200は、以下のごとく動作する。矢印230で示される光は縁202を有する端面に集束される。光は、拡大領域208で発散し、ビーム案内用導波路206に到達する。中央領域224に導波路206から出力されるビームは、電極210に印加される電圧によって方向制御される。図4及び図5に関して前述したように、デバイス214からでた中央回折極大は $+10^\circ \sim -10^\circ$ までの 20° の範囲にわたって案内可能である。非偏向出力方向228に対する 10° の角度は、受容導波路222で $80\mu\text{m}$ 以上の偏向に対応する。しかしながら、中央受容導波路220aから最も外側の導波路までの偏向は $60\mu\text{m}$ の偏向しか要しない。更に、デバイス214はバンド幅1.5°を有し、この幅は受容導波路222の各々がビーム案内導波路206に対して形成する角度にほぼ等しい。従って、デバイス214からの出力ビームは一度に1つだけの受容導波路222によって受容され、ビームはボンドパッド21に適当な電圧を印加することによって受容導波路のいずれか1つにスイッチングされ得る。従ってデバイスは、電子的に作動する1~7方向光学スイッチとして機能する。

【0106】光は、受容導波路222の終点となる端面26でデバイス200から放出される。光は、ボンドパッド電圧に従って選択された導波路222の1つに閉じ込められる。デバイス200は、付加的な光学処理または電気光学的処理を組み込んだより大きい(図示しない)半導体チップまたはウェーハの一部でもよい。特に、受容導波管22の終点が、以後の処理用電気信号を与える夫々のデテクタであってもよい。

【0107】次に、図17は、デバイス200の受容導波路構造の変形例230を示す。構造230は、個別導波路232を有する。中央導波路232aは真っ直ぐであるが、その他の導波路234は湾曲した入力領域と真っ直ぐな領域とを有し、入力領域の湾曲の効果は、以後の光学的及び/または電気光学的処理に適するように隣接導波管出力238の間の分離を強化することである。これはまた、特に広い

偏向角の受容導波路による高い光収集効率を確保する。

【0108】本発明の実施の形態であるデバイス10及び150は、2種以上の半導体材料を含むヘテロ構造であり、夫々非ドーブの導波路30及び152を有する。しかしながら本発明の実施の形態が、電気光学的特性を強化し且つより短い導波路を使用できるドーブ導波路を組み込むように設計されてもよい。GaAs導波路にはSiを濃度 10^{17}cm^{-3} でドーブし得る。または各導波路が、多重量子井戸構造でもよく、これも電気光学的特性を改良し得る。

【0109】本発明はまた、例えばシリコンに半導体ヘテロ構造として形成されてもよい。シリコンは一次電気光学効果を有していないが、二次効果及びドーピング効果を使用し得る。低屈折率の媒質と境界を接したコアを有する導波路を形成する必要がある、ドーピングの増加によって屈折率を低下させ得る。可能なシリコン構造の1つは $p^+n^-n^-n^+$ 構造であり、軽度ドーブされた中央導波路領域が、縮退的に($\sim 10^{18}\text{cm}^{-3}$)にドーブされた互いに反対の導電形を有する層の間にサンドイッチされている。水平面内で導波路は前述の実施の形態と同様の中間溝によって分離されている。または、分離領域自体が屈折率を低下するようにドーブされてもよい。しかしながら、この場合には、導波路電極が短絡しないように、導波路電極を分離用領域から絶縁する必要がある。ドーピングレベルの変化及び/または絶縁はプロトン絶縁法(proton isolation technique)によって得られる。

【0110】本発明は、GaAlAs以外のIII-V族材料系、例えばGaInAsPによって製造され得る。また、CdTe及びCdHgTeのごときII-VI族半導体材料によって製造され得る。CdTeはGaAsの約4倍のかなり強力な電気光学効果を与え、CdHgTe材料系はより長い波長の赤外領域に適している。ZnSe導波路は約500nmの可視波長の青-緑領域に使用され得る。

【0111】前記に説明した本発明のデバイス10は波長 $1.06\mu\text{m}$ で動作する。より一般的には、同様の方法で同じ材料から製造され異なる幾何学形の導波路を有するデバイスは、 $12\mu\text{m}$ までの波長に使用するように構成され得る。このためにはより長い導波路が必要であろうが、これは、従来のリソグラフィ技術の範囲で処理できる。この種のデバイスは、 $3\sim 5\mu\text{m}$ 及び $8\sim 11\mu\text{m}$ の領域で動作する赤外線システムでも使用可能であろう。

【0112】前記では本発明の用途がビーム案内に限定されている。更に、デバイスの導波路を進行する光に強度変調を与え回折から生じるフーリエ変換特性を利用することによってデバイスを光信号処理にも使用できる。デバイス10はまた、GaAsが電界吸収性を示す波長、即ち波長 $1\mu\text{m}$ で動作するときは吸収変調器を構成し得る。この場合デバイスは、振幅または位相を制御する空間光変調器として機能する。本発明はまた、超小型光学分光計を構成し得る。デバイス10を例えば単一受容導波路で使用するでもよく、回折像のビーム案内は受容導波路の入力

光の波長走査を生じるであろう。または、単一波長で動作する装置は、ビーム偏向または幅制御を使用して受容導波路で光強度の変調を生じるプログラム可能な光学波形成生器を構成することも可能であろう。

【0113】本発明はまた、図16のデバイス200と同様の波長多重化分離デバイス(wavelength demultiplexing device)を提供し得る。個々の波長の混合から成る光ビームが導波路206を通過する。このとき、各受容導波路222が夫々の単一波長を受容するように導波路電圧を調整する。これにより出発多重波長ビームは、単一波長を各々が有する個別ビームに分割され、その結果として多重化分離が得られる。

【0114】前述の本発明の実施の形態において、デバイス10の導波路30からの光出力は平面波の形状であり、この波形は、導波路バイアス電圧の調整によって得られたものである。光学素子または器具における収差を補正するために1つ以上の光焦点を生成させるのが必要な場合には、バイアス電圧制御によって平面でない波面を発生させることも可能である。波面の形状に関する制御は、アレイ中の導波路の数を増加させ、これら導波路の幅及び間隔を小さくすることによって強化される。波長 $1.06\mu\text{m}$ で使用するための波面制御アレイは、各々が幅 $1\mu\text{m}$ 未満の数100個の導波路を隣合う導波路間の中心間距離 $2\mu\text{m}$ 未満で組み込むように構成され得る。このような基準を用いると、高次の回折がアレイの照準線(非偏向)方向に対して広い角度を成すことが確保される。従って、高次の回折が主要な光ビームと干渉しない。各導波路の不連続性は問題にならない。これらの条件下にアレイは、電子的に制御される光波面発生器として作用するようにバイアスされ得る。隣合う導波路間のピッチ即ち中心間距離が自由空間光学波長の $1/2$ 以下に等しいとき、アレイ中の導波路の不連続性は完全に無視してよく、より高次の回折は存在しなくなる。

【0115】図18から図21は、それぞれの光学波面を生成する種々の導波路バイアス条件下の導波路アレイ300の概略図である。これらの図中、同じ素子は同じ参照符号で示される。波長 $1.06\mu\text{m}$ の光を使用する緊密に接近した($<2\mu\text{m}$)幅の狭い($<1\mu\text{m}$)数100個の導波路を含むアレイによる波面制御が示される。図18において、(詳細には図示しない)アレイ導波路に沿って進行する光301は、符号302で示すような平面波状の光出力波面を生成する。これらは矢印304で示すように、アレイ照準線方向即ち非偏向方向に対して傾斜した方向に進行する。非偏向方向306に対して傾斜した平面波302は、導波路出力の位相がアレイ300の横断方向の距離の一次関数として変化するとき得られる。

【0116】図19は、非偏向方向306から偏移した焦点312に集束する湾曲波面310を発生させるアレイ300を示す。波面310は、導波路の出力位相がアレイ300にわたって非線形の単調変化を示すように導波路をバイアスさせ

ることによって発生する。このような集束は、アレイ300と回折像のメインローブ形成との間の距離を短縮するために使用される。また、サイドローブはある程度抑制される。図20は、同様の状態を示すが、ここではアレイ300が、夫々の焦点324及び326に集束する独立した2組の湾曲波面320及び322を形成する。この場合、アレイ300は2つの部分で有効である。各部分で導波路の出力位相は非線形の単調変化を生じる。

【0117】図21は、光学素子330の収差を補償するように編成されたアレイ300を示す。素子330は、平坦面332と一部凸状及び一部凹状の第2面334とを有する。このため、素子を通過する(図示しない)平面波に波面の歪みが必然的に生じる。個々の導波路のアレイ出力位相は、アレイ300が、平面波でない出力波面336を与えるように制御される。波面336は、素子330によって平面波に与えられる位相変化に共役の位相変化を有するように構成されている。波面336が素子330を通過すると、その位相変化が相殺され平面波338が生じる。または、アレイ300が素子330によって与えられる位相歪みに共役の位相歪みが重畳された収束波に対応する波面を生成するように構成されてもよい。この場合、素子330から放出される波面は収束性である。

【0118】図18に示す平面波を中央方向306の両側に偏向角 $2\theta^*$ 以下で発生させるためには、アレイから距離 s の有効バンド幅 b の近似値は、式

$$b = d + 1.2 \lambda s / d \quad (7)$$

[式中、 d はアレイの幅(導波路の中心間距離の和)、 λ は自由空間波長]で計算できる。

【0119】図19のごとき集束のためには、回折限定バンド幅 b' の近似値は、式

$$b' = 1.2 \lambda s / d \quad (8)$$

で計算できる。

【0120】式(7)及び(8)は、アレイ幅 d に比較して回折限定バンド幅 b' が小さい距離 s でビーム集束が生じるのが有利であることを示す。例えば、 $d = 1 \text{ cm}$ で $\lambda = 10^{-4} \text{ cm}$ ($1 \mu\text{m}$)の場合、 $s = 300 \text{ cm}$ ならば、 $b = 1.0 \text{ cm}$ 及び $b' = 0.035 \text{ cm}$ であるが、 $s = 10^4 \text{ cm}$ では $b = 2.2 \text{ cm}$ 及び $b' = 1.2 \text{ cm}$ である。

【0121】本発明のデバイスによる位相制御集束の利点は、照明強度を増加し且つアレイから遠い走査視野でより微細な細部をアドレスするのが可能なことである。これは、撮像(imaging)及び光学的記憶装置において重要な利点である。更に、焦点の位置は、照準線方向からの偏向及びアレイからの距離(ズーミング)の双方に関して変更し得る。ズーミング即ち焦点距離の変更によって、物体から反射された光強度の変化率の測定値から遠視野の物体の範囲を確認し得る。または、パルス-エコー法を使用してもよい。この方法では、光パルスの発信と着信との間の時間遅延を測定する。

【0122】図19に示すアレイ300の集束作用によ

ば、より狭い受容波長を使用できるので、1~N方向スイッチ(図16参照)の場合にも有利であろう。

【0123】次に図22は、全体を符号400で示すアナログ-デジタルコンバータ(ADC)の形態の本発明の別の実施の形態の概略説明図である。ADC400は図1と同様の光ビーム案内デバイス402を組み込んでいるが、デバイスの長さが延長されまた異なる電極構造を有している。デバイス402は7つの電気光学的導波路を有しており、各導波路の内側領域が点線 $W1 \sim W7$ で示されている。導波路 Wn ($n=1 \sim 7$)の各々に夫々の位相校正電極 Cn と位相変更電極 Vn とが装着され、各電極対 $Cn-Vn$ はどの場合にも、各導波路の長手方向の互いに対向する両端に配置されている。校正電極 $C1 \sim C7$ は等しい長さを有しているが位相変更電極 $V1 \sim V7$ は導波路番号 n に比例する長さを有している。即ち、電極 Vn の長さは n に比例している。位相変更電極は、(図示しない)導波路間の溝にまたがって配置されたBのごときブリッジリンクによって一緒に接続され、共通ボンドパッドPに接続されている。電圧入力IPはボンドパッドPに接続されている。校正電極 $C1 \sim C7$ は、図1に符号33-34で示すような(図示しない)夫々のボンドパッドへの個別の結線を有する。

【0124】パルス化レーザ404は、ビームスプリッタ408を介してデバイス402に入る光ビーム406を発生する。レーザ強度の一部はビームスプリッタ408によって偏向されて基準ビーム410を形成する。デバイス402に入射する光は、鎖線412で示すように導波路 $W1 \sim W7$ の(図示しない)入力端に発散する。導波路からの光出力は例えば線414によって示されており、レンズ416によってデテクタの垂直平面状アレイ418に集束される。デテクタの1つの水平線だけが図示されている。個々のデテクタは符号Dに添え字1~7を付けて示す。デテクタアレイ418からの出力信号はデジタル電子プロセッサ420に入る。基準ビーム410はミラー422及び424によって基準デテクタの(図示しない)アレイに反射される。各基準デテクタは、夫々のデテクタ $D1 \sim D7$ と対を成す。図は、デテクタ $D7$ に対応する基準デテクタDRを示しているが、図を複雑にしないためにその他の基準デテクタは省略されている。 $D7/DR$ のごときデテクタ対の各々は、プロセッサ420に組み込まれた夫々の比較器に接続されている。このような比較器の1つを符号426で示す。各比較器は高速デバイスである。

【0125】ADC400は以下のごとく動作する。入力IPはアース電位に接続され、校正電極 $C1 \sim C7$ は夫々のバイアス電位に接続され、出力光414をレンズ416によってデテクタD0に集束させる。これは校正手順であり、以後、校正電極のバイアス電位は固定値に維持される。次に、アナログ電圧VAを位相変更電極 $V1 \sim V7$ の入力IPに印加する。電極 $V1 \sim V7$ の全部がブリッジリンクBを介して前記電圧を受容する。 n 番目の電極 Vn ($n=1 \sim 7$)の長さは導波路の番号 n に比例する。従って、電界が作用している(従

って電気光学的に屈折率変化が誘発される) n 番目の導波路の W_n の長さは n に比例する。これらの条件下にレンズ416によってデテクタアレイ418に生成されたビーム形状は実質的に維持されるが、出力光ビーム414は図示のごとく角 θ だけ方向調整して案内される。更に、 θ は入力電圧VAに正比例する。これは、近似値では $\theta = \sin \theta$ を意味し、一般に光学器械に適している。デテクタアレイ418では、ビーム焦点がVAに比例する距離だけデテクタD0から逸脱する。即ち m がVAに比例するとき、焦点はデテクタ D_m に到達する ($m=0 \sim 7$)。従って、デテクタD0~D7のいずれが照明されたかを同定することによってVAの測定値が得られる。前述のごとく、各デテクタは例えばD7/DRのごとく基準デテクタと対を成し、レーザ404からの入力光はパルス化されている。各レーザパルスはビームスプリッタ408によって2部に分割される。レーザパルスが存在しないときは、デテクタ対D7/DRは同様の信号を比較器426に出力し、比較器426は出力零を発生する。レーザパルスがDRのごとき基準デテクタに到達すると、該デテクタの出力は零でない。この出力信号は、入力(図示しない)電位除算器で除算されて比較器426に与えられ、中間的な値の比較器出力電圧レベルを与える。光ビーム414がD7のごときデテクタに集束されると高い比較器出力電圧レベルが生じる。その結果、比較器はレーザパルスの有無を識別し、デテクタD0~D7のいずれが照明されたかを示す。 m 番目のデテクタ D_m の照明は、 m に比例する入力電圧VAに対応し、入力アナログ電圧に対応する2進ワードを発生するために使用される。これはADC400がアナログ-デジタル変換を行なうことを示す。

【0126】次に図23を参照すると、ADC400と組み合わせて使用するのに適した形態の2次元符号化デテクタアレイ構造430が概略的に図示されている。符号化アレイ430は、入力アナログ電圧VAの2進数表現を与えるように編成されている。アレイ430は陰影を付けた方形部分432及び陰影を付けない方形部分434で示されており4列16行に編成されたデテクタ位置を有する。陰影部分432はデテクタに使用された位置に対応し、非陰影部分434は非使用位置に対応する。列の出力端子はドット436a~436gによってシミュレートされており、比較器426によって処理されるデテクタ出力は図示されていない。符号化アレイ430は図22の実施の形態即ちADC400に対して、レンズ416によって発生した一条の光が一度に1行のデテクタ位置に集中するように編成されている。デテクタ位置432/434の数字1または0で示すように、使用デテクタ位置の照明は2進数1の出力を生じ、非使用位置の照明は2進数0の出力を生じる。従って、入力電圧VAによる一条の光の偏向は、列出力436a(最下位ビット即ちLSB)から436g(最上位ビット即ちMSB)でビットパラレル的に0~15の範囲の値に比例する。これは、アナログ電圧VAからデジタル出力への直接変換を示す。

【0127】符号化アレイ430は、光の一部が1つのデ

テクタにはいり一部が同じ隣接列の対応デテクタにはいるため確実に欠けるという欠点がある。図23の7と8との間の臨界入力電圧VAでは、4つの数字全部の間で0から1または1から0への変化が生じる。その他の電圧では、同時に2つ以上の数字の変化が生じる。2つ以上の数字の変化に伴って生じる確実さの欠如を防ぐために、図24のグレイコードアレイフォーマット(Gray Code array format)を使用してもよい。図24は、隣合う行間の一条の光の運動が2つ以上の数字の変化を決して生じさせないように編成された変形アレイ440を示す。これはデテクタ位置の使用状態(occupancy)以外は図23と等価であるから、詳細には説明しない。グレイコード出力は従来の2進フォーマットに容易に変換できる。

【0128】ADCの実施の形態400は、種々の長さの導波路 $W_1 \sim W_7$ に一定の電界を生じさせるために種々の長さの位相変更電極 $V_1 \sim V_7$ を使用している。一定長さの電極を使用し夫々に異なる電圧を印加することによって同じ効果を得ることも可能である。この場合、第1の位相変更電極には入力アナログ電圧が全部印加され、以後の電極に対しては電極の順次除算段階によって入力アナログ電圧を漸減する。これは、長さが直線状に減少するADC400の一連の電極に定電界を印加するのと対照的に、一定長さの電極群に直線状に減少する電界を生じさせる効果がある。これらの2つの方法は等価であり、位相シフトが電圧に線形比例する限り、双方が、入力電圧VAに比例するビーム案内を行なう。

【0129】図2に示すように、屈折率の電気光学的変化 Δ は電界に対して非線形でもよい。この場合、図24のデテクタD0~D7の位置、または図23及び図24のデテクタの位置は補償可能に調整され得る。即ち、非線形電気光学効果を補償するために隣合うデテクタの中心間距離を非線形に変化させるとよい。

【0130】ADC400はミラー422及び424を介した基準光ビーム通路を組み込んでいる。この通路は、デバイス402が形成された半導体ウェーハ内に導波路として集積されてもよい。同様に、レンズ416、デテクタアレイ418及びプロセッサ420もかかるウェーハに集積され得る。または、導波路 $W_1 \sim W_7$ に付加的位相変化を導入することによって図20に示すようなレンズ機能を獲得させてもよい。

【0131】次に図25は、デジタル-アナログコンバータ(D/A)として編成された本発明の別の実施の形態450を示す。D/Aコンバータ450は、夫々の電極が線 $m_1 \sim m_4$ で示された4つのアレイ452を含む。導波路電極は夫々の電圧 $V_1 \sim V_4$ に接続され、各電圧はデジタル1または0に対応する。導波路 $m_1 \sim m_4$ は、より詳細に後述する振幅調整器456を介してレーザダイオード454から光を受容する。レーザ出力はレンズ460を介して補助デテクタ458によってモニタされ、デテクタ出力はレーザ出力源462を制御しレーザの振幅安定性を与えるために使用される。

光は導波路アレイ452から平面波として出力され、係数 2^{n-1} で減衰する中性濃度フィルタアレイ464を介して n 番目の導波路($n=1\sim4$)に移行する。即ち、第1導波路の出力は減衰されないが、以後の導波路の出力は先行導波路の $1/2$ になる。個々のフィルタを垂直線で示しており、各フィルタは50%減衰を与える。フィルタアレイからの光は、レンズ466によって入射光強度に対応するように構成されたダイオードデテクタ468に集束される。

【0132】振幅調整器456は、導波路 $m1\sim m4$ の各々に対して(図示しない)夫々のMach Zehnder干渉構造を含む。かかる構造の各々は、後で2つのアームに分割される入力導波路領域を含む。アームは後で再結合し、導波路 $m1\sim m4$ の各1つに接続された単一の出力導波路アームを形成する。各アームは夫々のバイアス手段を有し、一方のアームにおける光の位相が電気光学的に進んでおり、他方のアームが遅れている。その結果、分割された2つのアームから出た波の間の干渉がそれらの相対位相シフトに伴って変化するので、出力導波路アームと夫々の導波路 mn における平均位相は一定であるが振幅は可変である。従って、振幅調整器は導波路 $m1\sim m4$ に対する光入力間の振幅を等化する手段を与える。ニオブ酸リチウムに集積された光学素子のMach Zehnder干渉計構造は、公知であるからこれ以上説明しない。

【0133】レーザ454からの出力波長は、電界吸収を与えるように導波路 $m1\sim m4$ の材料中の半導体のバンド縁の近傍に存在するように構成されている。電界吸収は、前述の実施の形態で使用した電界屈折に間接的に関係する電気光学効果である。この作用は、電界に応じて半導体のバンド縁を移動させ、その結果としてレーザ波長の吸収を変化させる。

【0134】従って、各導波路は、該導波路に印加電圧が存在するか否かに応じて内部の光を透過または吸収する。導波路によって出力される強度が等しいとき、デテクタ468によって受容される強度の和 S は、式、

$$S=A(8V1+4V2+2V3+V4)/8$$

[式中、 A は定数、 $V1\sim V4$ の各々はデジタルビット値0または1]で与えられる。その結果として、デテクタ468は2進ワードのデジタル入力 $V1V2V3V4$ に比例したアナログ出力を与える。従ってデバイス450は4ビットD/A変換を行なう。より多数のビットを収容するために付加的な導波路を配備してもよい。

【0135】振幅調整器456が、導波路アレイ452まで順次段階で振幅(magnitude)が倍増するように重み付けされた導波路入力強度を与えるように構成されているとき、デバイス450のフィルタアレイ464を省略してもよい。レーザ454は連続動作してもよくまたはデジタルデータ入力と同期的にパルス化されてもよい。更に、レーザ454は、デテクタ468における干渉作用を防止するために「フェーズジッタ(phase jitterd)」されていてもよい。

【0136】次に図26は、電気パルスアナライザの形態の本発明の別の実施の形態500の概略図である。パルスアナライザ500は、平行電極線502₁～502₅で示す導波路アレイ502を組み込んでいる。アレイ502は、(図示しない)振幅調整器を介してパルス化レーザからパルス光504を受容する。図25に関して前述のごとく、導波路アレイ502は、個々の導波路内で光を電界吸収するように構成され、レーザの波長は導波路材料のバンド縁の近傍に存在する。光は導波路アレイ502の出力(結晶劈開)面506から出力され、レンズ508によって線形デテクタダイオードアレイ510に結像される。レンズ508は出力面506及びデテクタアレイ510の双方から焦点距離の2倍だけ離間している。その結果として、平面506の導波路出力の実像はアレイ510中の夫々のデテクタダイオードに形成される。

【0137】チェーン512の無線周波(RF)インダクタ512₁～512₄は、隣合う電極対502₂と502_{2n+1}($n=1\sim4$)とを接続する。最も上部のRFインダクタ512₁はRF信号入力514に接続されている。

【0138】パルスアナライザ500は以下のごとく動作する。入力514に印加されたRF信号は式、
 $V=(LC)^{-1/2}$

[L 及び C は夫々、単位長さあたりのチェーンのインダクタンス及びキャパシタンスであり、 V の単位は毎秒あたりの L 及び C の測定に用いられる長さである]の速度でインダクタチェーン512に沿って伝播する。 C の値はチェーン512が接続された導波路502₁等のキャパシタンスに支配される。 L の値は、個々のインダクタ512₁等の長さを変更するか及び/または巻回することによって調整され得る。これらの L 及び C 成分によって形成された人工的遅延線は実質的に非分散性であることが必要である。即ち V が該当バンド内のRF信号周波数から独立していなければならない。

【0139】514のRF信号入力はインダクタチェーン512に沿って伝播するために有限の時間を要するので、任意の瞬間に信号波形のサンプルセクションがチェーン長さにわたって分布して出現する。レーザ504からのパルスは振幅調整器505によって導波路502の間に均等に分割される。各レーザパルスの分割部分は、夫々の導波路内部で電界吸収によって、該導波路でのRF信号レベルに依存してある程度まで減衰される。その結果として、平面506の導波路出力は瞬時的RF波形に従って減衰される。アレイ510のデテクタは夫々の導波路出力を受容し、従って、RF波形に従って減衰された出力信号を発生する。従って、レーザパルスの長さが、個々の導波路で明らかな信号レベル変化が生じる時間よりもはるかに短いならば、デテクタアレイ出力はRF波形のサンプルである。1ピコ秒のレーザパルスは1GHzを十分に上回るRF周波数成分をサンプリングし得るであろう。その結果としてパルスアナライザ500は、VHF波形をサンプリングする手段を

提供する。更に、アナライザ500は、従来の全電子装置で生じたようなサンプリング信号の劣化を誘因する電子的過渡現象を生じない。

【0140】アナライザ500においては、波形の繰返しと同期的にパルス化されたレーザ504によって反復性RF波形がサンプリングされる。このようにして得られた多数のサンプルを電子的に集合させて信号対雑音比を改良し得る。

【0141】前述のごとく、パルスアナライザ500はデテクタアレイ510に光を結像させるレンズ508を組み込んで、光学的倍率を与えるためにレンズは導波路出力から焦点距離の2倍以内の処に配置され得る。または、結像用光学素子を省略できるように、個々のデテクタを夫々の導波路出力に直接配置してもよい。

【0142】本発明はまた、時間集積相関器を提供する。この時間集積相関器は、装置としての概念はパルスアナライザ500と同様であるが、その用途に適応するように以下のごとく修正されている。レーザ504は、はるかに長いパルスを有しているか、または前記のごとく連続でもよい。レーザは、その強度出力範囲の中心の周囲でバイアスされ、入力基準信号によって該中心の周囲で強度変調される。アレイ502の最も外側の導波路はインダクタチェーン512に接続されず、アレイ502の全部の導波路が夫々の動作の中心(50%減衰)にバイアスされる。アレイのデテクタの各々は夫々の導波路から光を受容する。インダクタチェーンに非接続の導波路に対応するデテクタは基準信号を与え、その他の全部のデテクタの出力信号が(図示しない)比較器アレイによって基準信号に比較される。

【0143】波形は、前記と同様にしてインダクタチェーン512に inputs され、波形は雑音及び干渉によって劣化する。レーザ変調がインダクタチェーンに接続されたいずれか1つの導波路の信号に同期すると、該導波路に対応するデテクタにピーク信号が出現し、入力波形中にレーザ変調信号波形が存在することを検証する。導波路変調器のピーク伝送は常に、レーザ強度の極大と一致し、伝送最小値はレーザ強度の極小と一致する。デテクタは、ナノ秒から秒の範囲の適当な任意の期間に受容した夫々の光出力を集積し得る。集積はレーザパルスの長さまたはデテクタ出力の電子的集積によって支配され得る。雑音及び非相関干渉は十分に長い集積期間にわたって零に平均される。

【0144】次に図27は、本発明の前記の実施の形態での使用に適した導波路アレイ構造560の概略図である。分かり易いように、構造560は、奥行きを極度に縮小し案分比例でない状態で示される。該構造は、3つの導波路562を組み込んでおり、各導波路はパラボラ形の拡大された入力及び出力領域即ちホーン564及び566を有する。入力ホーン564は矢印の付いた波面568によって示されるレーザ光ビームを共通に受容する。出力ホーン566

は平面光波572を発生する。

【0145】パラボラ形入力及び出力導波路ホーン564及び566の使用によって多数の利点が得られる。テーパ状導波路ホーンは公知であるが、パラボラ形ホーンはより効率がよく導波路の所要長さも短い。出力ホーン566は出力ビーム572を拡大し、不要な高次のモードを喪失して光エネルギーを低次の空間モードに集中させる。更に、導波路562から出力ホーン566への遷移が極めて短い物理的長さで生じ、モード変換の可能性が小さい。導波路ホーン564及び566の主な利点は、小さいキャパシタンスで回折効果を伴うことなく連続的光学構造の効果がシミュレートできることである。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の電気光学的導波路デバイスの概略部分斜視図である。

【図2】図1のデバイスの導波路材料の電気光学的特性を示すグラフである。

【図3】図1のデバイスの評価に使用される光学系の概略ブロック図である。

【図4】光ビームの案内を示す光強度対角度の関係を示すグラフである。

【図5】光ビームの案内を示す光強度対角度の関係を示すグラフである。

【図6】図1に示すデバイスの実施の形態の全体または部分を示す顕微鏡写真の複写である。

【図7】図1に示すデバイスの実施の形態の全体または部分を示す顕微鏡写真の複写である。

【図8】図1に示すデバイスの実施の形態の全体または部分を示す顕微鏡写真の複写である。

【図9】図1に示すデバイスの実施の形態の全体または部分を示す顕微鏡写真の複写である。

【図10】図1のデバイスの端面の理想形を寸法パラメータと共に示す斜視図である。

【図11】図1のデバイスによって生じる遠視野回折像の複写である。

【図12】二次元ビーム案内用に設計された本発明の別の実施の形態の概略図である。

【図13】PINダイオードアセンブリを含む本発明の変形例の概略斜視図である。

【図14】図13のデバイスの端面の理想形を寸法パラメータと共に示す斜視図である。

【図15】光学読取り用の本発明デバイスの使用例の説明図である。

【図16】単極多方向光スイッチとして設計された本発明の実施の形態の概略平面図である。

【図17】図16のデバイスの受光導波路構造の変形例を示す概略平面図である。

【図18】本発明のデバイスによる光波面の制御を示す説明図である。

【図19】本発明のデバイスによる光波面の制御を示す

説明図である。

【図20】本発明のデバイスによる光波面の制御を示す説明図である。

【図21】本発明のデバイスによる光波面の制御を示す説明図である。

【図22】アナログ-デジタル変換に使用される本発明の実施の形態を示す説明図である。

【図23】アナログ-デジタル変換に使用される本発明の実施の形態を示す説明図である。

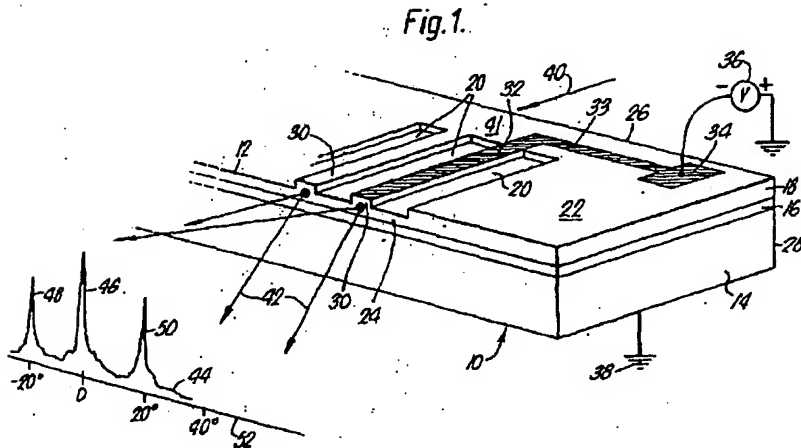
【図24】アナログ-デジタル変換に使用される本発明の実施の形態を示す説明図である。

【図25】デジタル-アナログコンバータに使用される本発明の実施の形態を示す説明図である。

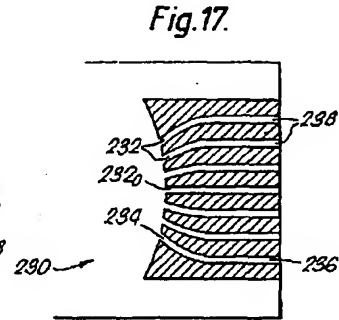
【図26】パルスアナライザに使用される本発明の実施の形態を示す概略説明図である。

【図27】本発明のデバイスに対して光の入出力を行なうパラボラ形導波路ホーンの説明図である。

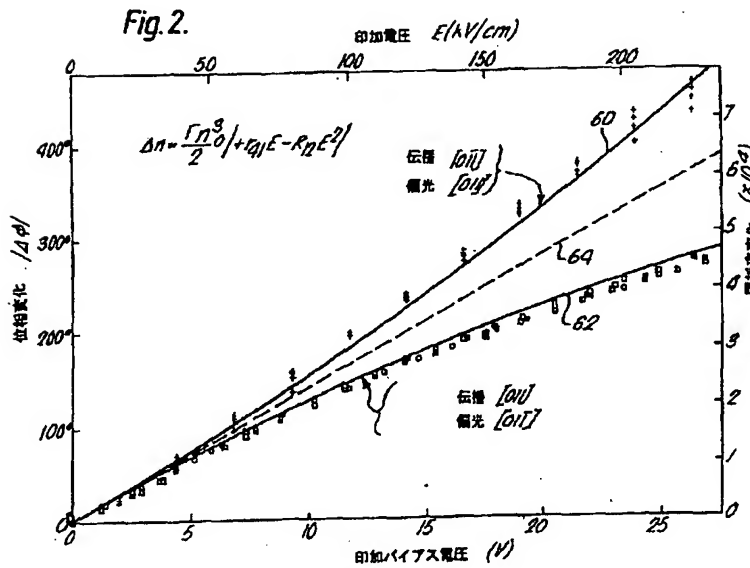
【図1】



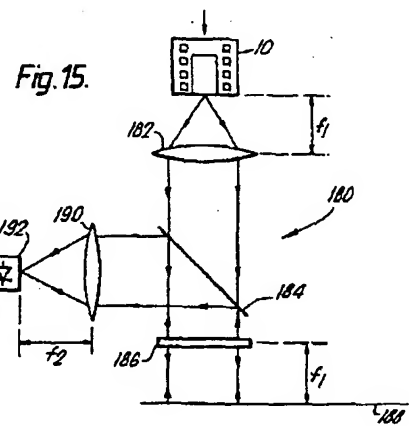
【図17】



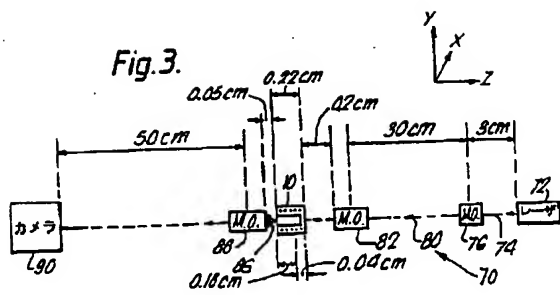
【図2】



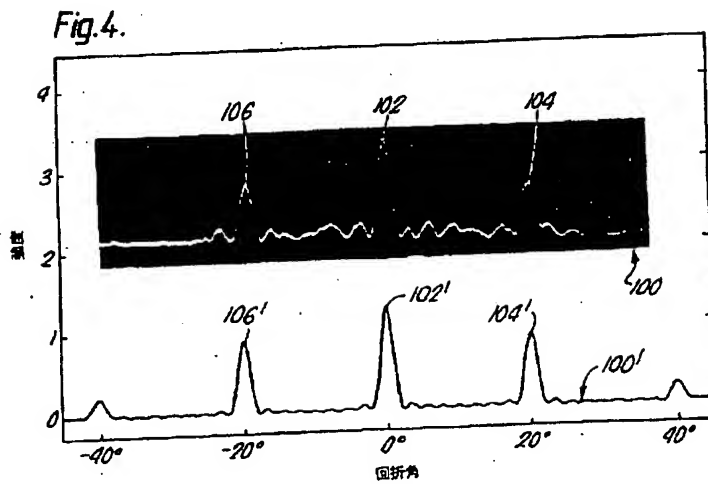
【図15】



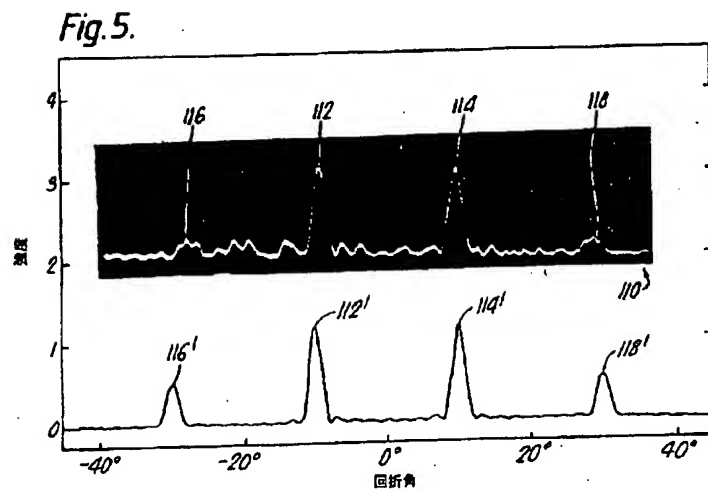
【図3】



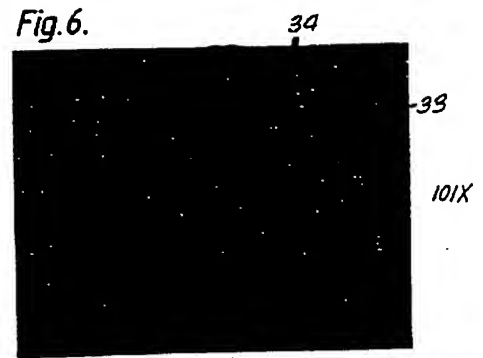
【図4】



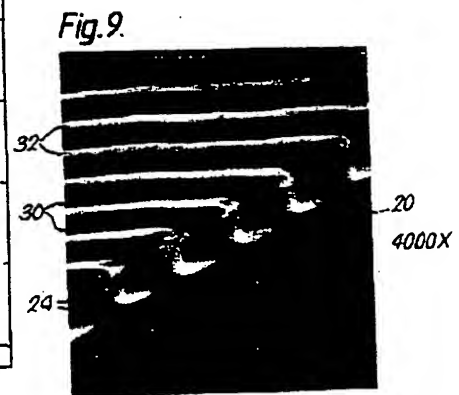
【図5】



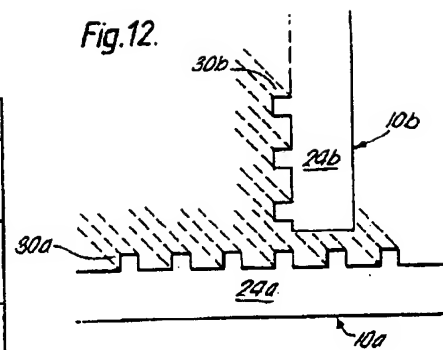
【図6】



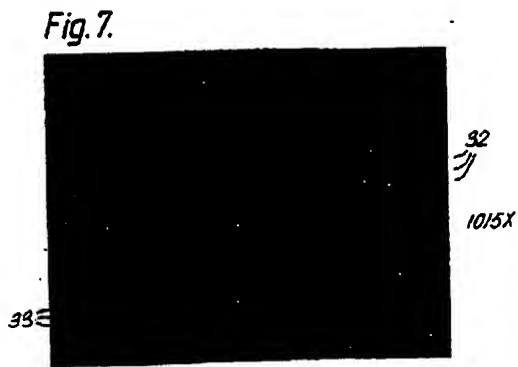
【図9】



【図12】



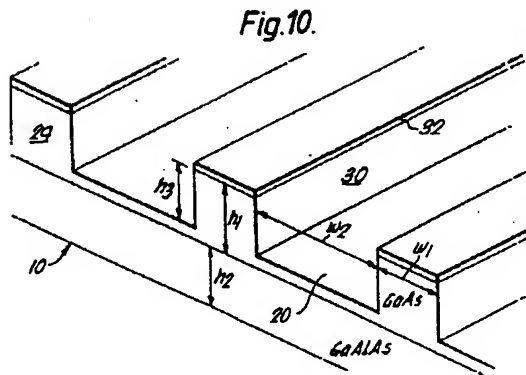
【図7】



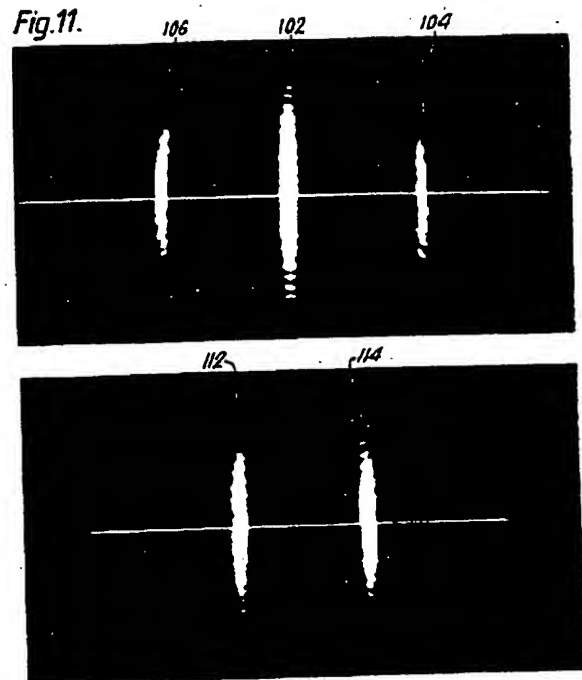
【図8】



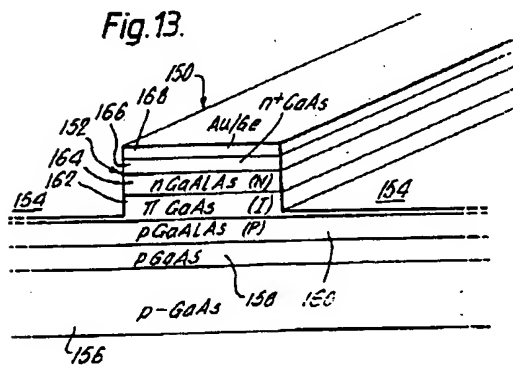
【図10】



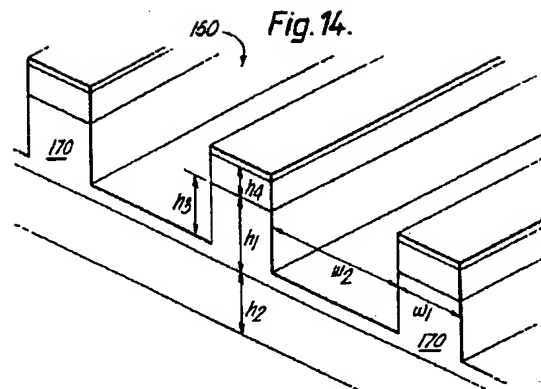
【図11】



【図13】

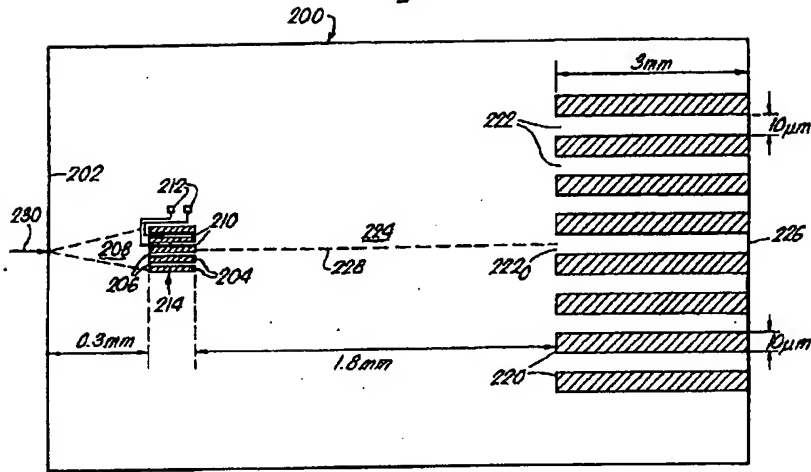


【図14】



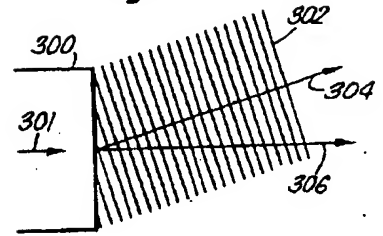
【図16】

Fig.16.



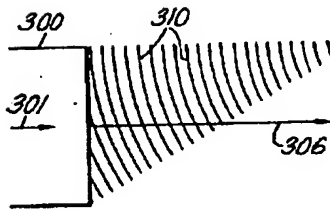
【図18】

Fig.18.



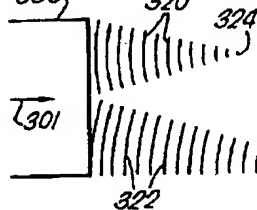
【図19】

Fig.19.



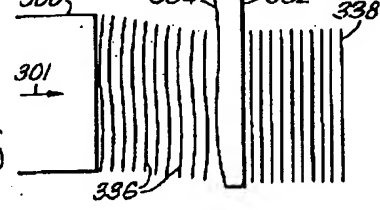
【図20】

Fig.20.



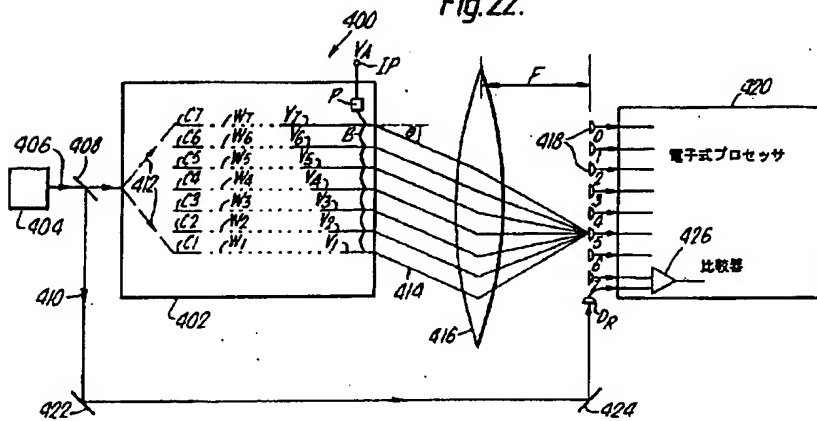
【図21】

Fig.21.

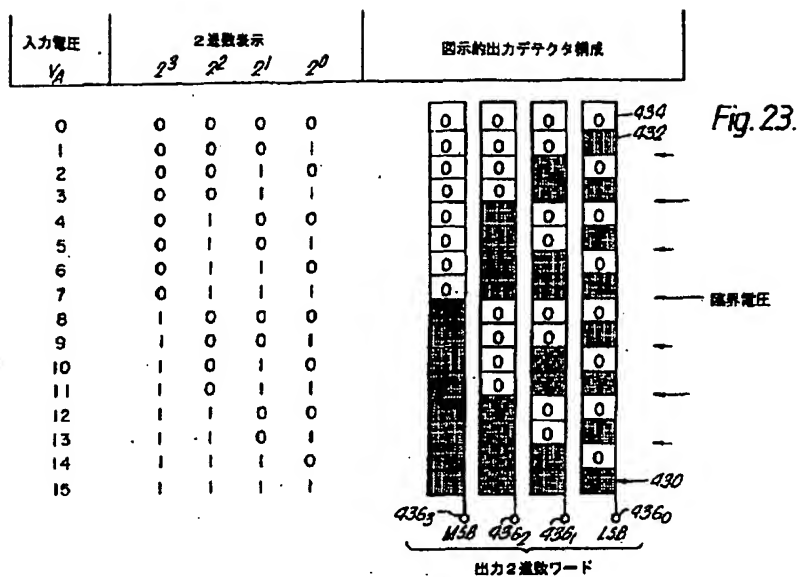


【図22】

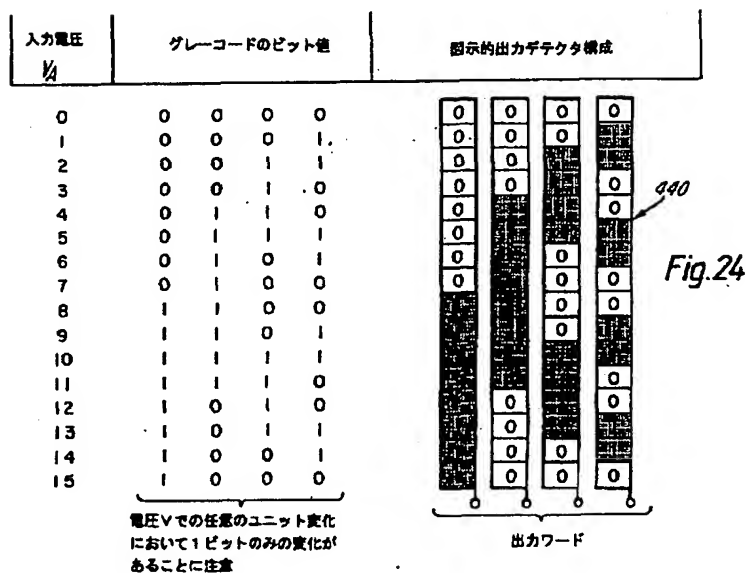
Fig.22.



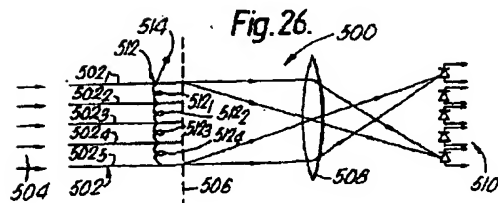
【図 23】



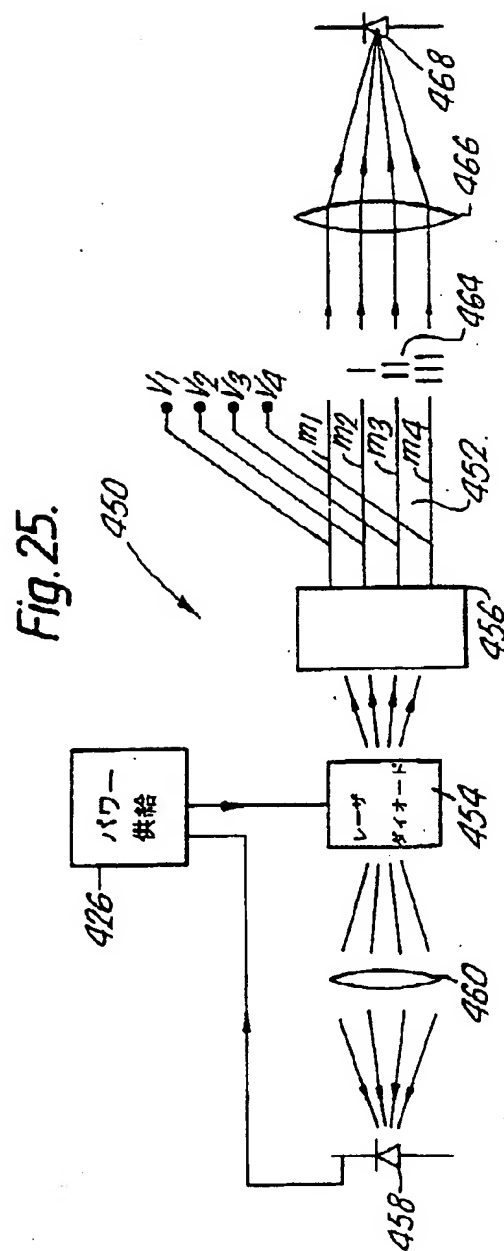
【图 2 4】



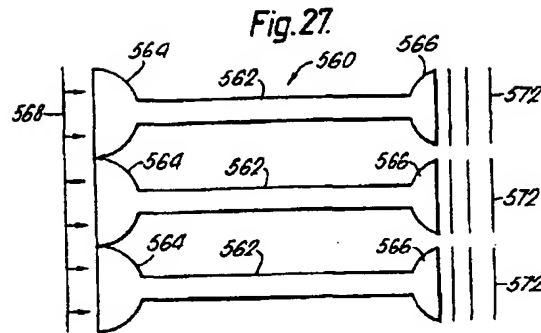
【图 2 6】



【図25】



【図27】



【手続補正書】

【提出日】平成9年8月1日

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】特許請求の範囲

【補正方法】変更

【補正内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】 自由空間波長 λ で作動するように形成された電気光学的材料から成る電気的にバイアス可能な導波路(30)アレイを含む種類の電気光学的導波路デバイスであって、(a)デバイス(10)が半導体材料から成る多層構造であり、コア層(18)内で光を閉じこめるために低屈折率を有する2つの光閉じ込め層(16, 32)の間にサンドイッチされた導波路コアを形成する層(18)を含み、(b)アレイの個々の導波路(30)を形成する溝(20)が導波路コア層(18)を貫いて延びており、該溝(20)が、導波路コア層(18)の屈折率を少なくとも1.5下回る屈折率を有する媒質を収容すると共に、隣り合う導波路(30)の間を光学的に絶縁するように形成されており、(c)アレイの個々の導波路が10 λ 未満離間されており、(d)導波路コア層(18)がすべての導波路(30)に共通な第1の領域と、第1の領域上の第1の領域よりも厚い、個々の導波路(30)から成るアレイと溝(20)とを含む第2の領域とを有しており、(e)導波路コア層(18)がダイオード構造(16, 18, 32)の一部であり、閉じ込め層(16, 32)を介して印加された逆バイアス下に荷電キャリア空乏層になり、(f)コア(18)及び光閉じこめ層(16, 32)がより高次の空間モードの漏洩を容易にするように設計された夫々の屈折率及び厚さを有し、それにより導波路(30)内を伝搬する光が実質的に単一空間モードに制限されることを可能にする電気光学的導波路デバイス。

【請求項2】 (a)導波路(30)が幅5 λ 未満を有し、(b)第1のコア領域が第2のコア領域の厚さの25%以下であり、(c)コア(18)及び光閉じこめ層(16, 32)の夫々の屈折

率及び厚さが、異なるモード間での及び層の厚さに伴う有効屈折率の変化によって、より高次の空間モードの漏洩を容易にするように設計されている請求項1に記載のデバイス。

【請求項3】 電気光学的材料から成る電気的にバイアス可能な導波路(30)アレイを含む種類の電気光学的導波路デバイスであって、(a)デバイス(10)が半導体材料から成る多層構造であり、コア層(18)内で光を閉じこめるために低屈折率を有する2つの光閉じ込め層(16, 32)の間にサンドイッチされた導波路コアを形成する層(18)を含み、(b)アレイの個々の導波路(30)を形成する溝(20)が導波路コア層(18)を貫いて延びており、該溝(20)が、導波路コア層(18)の屈折率を少なくとも1.5下回る屈折率を有する媒質を収容すると共に、隣り合う導波路(30)の間を光学的に絶縁するように形成されており、(c)アレイの個々の導波路が10 λ 未満離間されており、(d)導波路コア層(18)がすべての導波路(30)に共通な第1の領域と、第1の領域上の第1の領域より厚い、個々の導波路(30)から成るアレイと溝(20)とを含む第2の領域とを有しており、(e)導波路コア層(18)がダイオード構造(16, 18, 32)の一部であり、閉じ込め層(16, 32)を介して印加された逆バイアス下に荷電キャリア空乏層になり、(f)導波路(30)と該導波路へ入力される放射(40)とが、導波路(30)内を伝搬する光が実質的に単一空間モードに制限されるように設計されている電気光学的導波路デバイス。

【請求項4】 前記アレイの各導波路(30)が、導波路の長手方向の中心軸に対して3度以下の傾斜角度で入力された放射(40)を受容するように設計されている請求項1から3のいずれか一項に記載のデバイス。

【請求項5】 前記コア層(18)が閃亜鉛鉱結晶構造を有しており、平面偏光された放射伝搬をその[011 $\bar{1}$]結晶軸にほぼ平行な方向に支持するように設計されており、前記放射(40)はその電界ベクトルがコア[011 $\bar{1}$]結晶軸にほ

ば並行になるように偏光される請求項1から4のいずれか一項に記載のデバイス。

【請求項6】 溝(20)アレイにより電気光学的材料からなる導波路コア層(18)内に画定され、自由空間波長 λ で作動する20度の範囲にわたる明らかなビーム案内を行うように形成された電氣的にバイアス可能な導波路(30)アレイを含む種類の電気光学的デバイスであって、
(a)アレイ内の各導波路(30)の幅が 2λ 以下であり、導波路の中心が 3λ 以下の空間により離間されており、
(b)溝(20)がコア層(18)の厚さの少なくとも80%を含む領域を貫いて延びており、(c)導波路コア層(18)が第1(16)及び第2(32)の光閉じこめ層との間にサンドイッチされ、コア層(18)と光閉じこめ層(16, 32)との間に少なくとも0.3の高屈折率差が存在しており、(d)導波路コア材料と隣り合う溝の含有物との間に少なくとも1.5の高屈折率差が存在しており、(e)導波路コア層(18)が半導体ダイオード(16, 18, 32)の一部であり、電場を印可することにより荷電キャリア空乏層になり、(f)導波路(30)及び光閉じこめ層(16, 32)の屈折率が、より高次の導波路モードが導波路(30)内で漏洩するように形成され、それにより導波路(30)内の放射伝搬が実質的に単一空間モードに制限されることを確かにする電気光学的デバイス。

【請求項7】 コア層(18)及び第1の光閉じこめ層(16)が $0 \leq x < 1$ である $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ 系の半導体層である請求項1から6のいずれか一項に記載のデバイス。

【請求項8】 第2の光閉じこめ層(32)が導波路コア層(18)に対するショットキー接触である請求項7に記載のデバイス。

【請求項9】 導波路コア層(162)が実質的に非ドープのGaAsから成り、光閉じ込め層(160, 164)がGaAlAsから成り且つ互いに反対の導電性を有する請求項7に記載のデバイス。

【請求項10】 アレイ(560)の各導波路(562)がパラボラ形の入出力領域(564, 566)を有する請求項1に記載のデバイス。

【請求項11】 導波路(30)が、夫々のボンドパッド(34)及び該ボンドパッドに接続された導線(33)を介してバイアス可能であり、ボンドパッド(34)はデバイス(10)の導波路(30)收容領域の周囲に配置され、導線(33)はデバイス(10)の光入力領域(41)にわたって延びている請求項1から10のいずれか一項に記載のデバイス。

【請求項12】 受容導波路(222)アレイの入力領域に遠視野回折像を形成するように設計され、像が、受容導波路(222)のいずれか1つによって受容可能で且つ受容導波路アレイで案内可能なメイン回折ローブ(46)を有する請求項1から11のいずれか一項に記載のデバイス。

【請求項13】 受容導波路(232)が入力領域に最小間隔を有する請求項12に記載のデバイス。

【請求項14】 共通光源(404)により照射される電気

光学的導波路アレイ($W_1 \sim W_7$)と、共通電圧源(V_A)に接続されている対応電極アレイ($V_1 \sim V_7$)とデテクタアレイ($D_0 \sim D_7$)とを含む電気光学的ビーム案内装置(400)であって、

該装置(400)がデテクタ($D_0 \sim D_7$)の平面において案内可能な強度ピークを有する回折像を形成するように設計されており、

各導波路(W_n)が夫々の電極(V_n)に結合され、該電極は、 n がアレイの電極の数を表し、 L が最小の電極の長さを表す長さ nL を有しており、

該装置(400)がそれにより共通電圧源(V_A)により表されたアナログ入力にตอบสนองし、特定のデテクタ(D_n)の照射により表されたデジタル出力を与える電気光学的ビーム案内装置。

【請求項15】 各デテクタ(D_n)がデバイスの照射にตอบสนองする参照デテクタ(D_R)に結合され、比較手段(426)はデテクタ(D_n)と参照デテクタ(D_R)にตอบสนองする請求項14に記載のデバイス。

【請求項16】 導波路(W_n)が、共通電圧源(V_A)上の零電圧にตอบสนองして第1のデテクタ(D_0)の照射が行われるように独立してバイアス可能な夫々の第2のバイアス電極($C_1 \sim C_7$)に結合されている請求項14または15に記載のデバイス。

【請求項17】 デテクタアレイ(430, 440)が二次元であり、出力デジタル信号を供給するように信号化される請求項14から16のいずれか1項に記載のデバイス。

【請求項18】 共通光源(458)から光を需要するように設計された電氣的にバイアス可能な導波路(452)アレイを含み、導波路が電界吸収性で、個々の導波路出力強度を変化させるように設計された電圧バイアス手段($V_1 \sim V_4$)に接続された夫々のバイアス電極($m_1 \sim m_4$)に結合している電気光学的導波路デバイス。

【請求項19】 バイアス手段($V_1 \sim V_4$)が2進数字に対応する電圧を与えるように設計され、個々の導波路は、対応する2進数字が0であるか1であるかによって不透過性または透過性であり、透過性のときはバイナリダブリングスキームに重み付けされた夫々の出力強度を与え、導波路の出力が、バイアス手段($V_1 \sim V_4$)へのデジタル入力に対応するアナログ出力を与える共通検出手段(468)によって検出および加算される請求項18に記載のデバイス。

【請求項20】 隣り合うバイアス電極($502_1 \sim 502_5$)が、信号入力(514)に接続されたチェーン(512)を形成する夫々のインダクタ($512_1 \sim 512_4$)によって接続され、共通光源がパルス化レーザであり、導波路出力が、チェーン(512)に分布した信号のサンプリングを行うために夫々のデテクタによって検出される請求項18に記載のデバイス。

フロントページの続き

(72)発明者 メイリオン・フランシス・ルイス
 イギリス国、ウスターシャー・ダブリュ・
 アール・14・3・ジエイ・エツクス、マル
 バーン、チャーチダウン・ロード・5

(72)発明者 クリストファー・ローレンス・ウエスト
 イギリス国、ウスターシャー・ダブリュ・
 アール・14・4・ジエイ・エツクス、マル
 バーン・ウエルズ、アツパー・ウエルラン
 ド、チエス・ロード・18